Anat. 4°
156
u

Anat. Rollett
156u 4°

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE DER MUSKELN.

VON

ALEXANDER ROLLETT,

WIRKLICHEM MITGLIEDE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

(Mit 11 Tafeln.)

BESONDERS ABGEDRUCKT AUS DEM LIII. BANDE DER DENKSCHRIFTEN DER MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE

DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

WIEN.

AUS DER KAISERLICH-KÖNIGLICHEN HOF- UND STAATSDRUCKEREI.

IN COMMISSION BEI KARL GEROLD'S SOHN,

BUCHHÄNDLER DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

1887.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE DER MUSKELN.

VON

ALEXANDER ROLLETT,

WIRKLICHEM MITGLIEDE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

(Mit 11 Tafeln.)

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 21. APRIL 1887.

Die physiologischen Thatsachen, welche in der folgenden Abhandlung mitgetheilt werden sollen, werden zu einem grossen Theile unser Interesse nur in Bezug auf das Vorkommen, in welchem ich sie beobachtet habe, beanspruchen.

Viele derselben sind an anderen quergestreiften Muskelfasern, als an welchen sie hier beschrieben werden sollen, längst bekannt.

Andererseits glaube ich aber, dass die Studien an den Objecten, die in der folgenden Abhandlung aufgeführt werden, auch einiges Neue bringen und namentlich zur Erweiterung unserer Kenntnisse über das Vorhandensein von quergestreiften Muskelfasern mit ganz abweichenden physiologischen Eigenschaften beitragen werden.

I. Einleitung.

Bei meinen Untersuchungen[1] über den Bau der quergestreiften Muskelfasern habe ich beobachtet, dass zwischen den quergestreiften Muskelfasern verschiedener Käfer sehr wesentliche Verschiedenheiten des Baues existiren.

Ich hatte dabei zunächst von der ganz auffallenden Verschiedenheit der Flugmuskeln und der übrigen Skeletmuskeln der Insecten abgesehen, einer Verschiedenheit, die inzwischen auch von anderer Seite[2] beschrieben worden ist.

---

[1] Diese Denkschriften, Bd. XLIX, S. 81 und Bd. LI, S. 24. Wien 1885.

[2] R. v. Limbeck, Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Classe der kais. Akademie der Wissenschaften in Wien. Bd. XCI, Abth. III, S. 322, 1885; A. van Gehuchten, Étude sur la structure intime de la cellule musculaire striée. (Extrait de la Revue „La Cellule“, t. II, fasc. 2. Louvain, 15. novembre 1886, p. 397.) Über die letztere Arbeit, welche viele gut gezeichnete Bilder, aber eine höchst bedenkliche Darstellung des feineren Baues der quergestreiften Muskeln enthält, werde ich mich an anderem Orte kritisch äussern.

Die Flugmuskeln der Insecten beanspruchen darnach eine ganz exceptionelle Stellung in der Histologie, und ich[1] habe auch sofort darauf aufmerksam gemacht, dass Marey[2] schon vor längerer Zeit auch die ganz exceptionelle physiologische Stellung der Flugmuskeln der Insecten gekennzeichnet habe, da er eine unerhörte Schnelligkeit der Einzelzuckungen derselben (bis über 300 in der Secunde) behauptete. Eine Behauptung, welche durch v. Fleischl's[3] stroboskopische Versuche erhärtet wurde.

Die Flugmuskeln der Insecten müssen also jedenfalls als eine besondere Art von Muskeln den übrigen Skeletmuskeln entgegengesetzt werden.

Allein mit diesem Gegensatze zwischen Flugmuskeln und den übrigen Skeletmuskeln sind die Verschiedenheiten in Bezug auf Bau und physiologische Eigenschaften der Muskelfasern der Insecten nicht erschöpft. Man kann bei den Insecten nicht blos zwei Arten von Muskelfasern unterscheiden: Die Flugmuskeln, welche kein eigentliches Analogon bei den Wirbelthieren haben und die übrigen Skeletmuskeln, welche die Analoga der quergestreiften Skeletmuskeln der Wirbelthiere darstellen; es gibt, wenn man von den Flugmuskeln ganz absieht und nur die übrigen Skeletmuskeln in Betracht zieht, bei den letzteren noch verschiedene Fasern von ganz abweichendem Baue und verschiedenen physiologischen Eigenschaften.

Gerade so, wie das nach den Untersuchungen von Ranvier[4], Grützner[5] u. A. bei den Skeletmuskeln der Wirbelthiere der Fall ist.

Ich glaube, dass ich nach dieser Auseinandersetzung darauf rechnen kann, dass man mir zustimme, wenn ich empfehle, man möge sich vorläufig bei vergleichend anatomisch-physiologischen Studien über Insecten- und Wirbelthiermuskeln nicht verleiten lassen, die histologisch-physiologische Verschiedenheit der Flugmuskeln und der übrigen Skeletmuskeln der Insecten in die nächste Parallele zu setzen mit den von Ranvier und Grützner u. A. studirten histologisch-physiologischen Verschiedenheiten der weissen und rothen Fasern der Wirbelthiermuskeln. Man würde damit eine entferntere Analogie einer viel näher liegenden vorschieben.

Die Flugmuskeln der Insecten, die noch einer sehr eingehenden physiologischen Bearbeitung bedürfen, sind eben so gründlich verschieden von den weissen wie von den rothen oder allgemeiner gesagt eben so gründlich verschieden von den rasch, wie von den träge zuckenden Muskeln der Wirbelthiere.

Dagegen lässt sich zeigen, dass unter den übrigen Skeletmuskeln der Insecten Fasern von der Beschaffenheit der rasch und solche von der Beschaffenheit der träge zuckenden Muskelfasern der Wirbelthiere vorkommen.

Eine kurze Mittheilung über diesen Gegenstand habe ich[6] schon früher gemacht und daselbst die Zuckungscurven von Einzelzuckungen beschrieben und abgebildet, die mittelst einzelner Öffnungsinductionsschläge von den den Schenkel des hintersten Beinpaares bewegenden Muskeln des *Dyticus marginalis*, des *Hydrophilus piceus* und der *Melolontha vulgaris* erhalten worden waren.

Alle Skeletmuskelfasern des *Dyticus* weichen in ihrem Baue sehr wesentlich von allen Skeletmuskelfasern des *Hydrophilus* ab, während bei jedem dieser Käfer für sich in allen Muskelfasern des Skeletes ein ganz übereinstimmender Bau realisirt erscheint. Kurz charakterisirt ist die Beschaffenheit des *Dyticus*-Muskels: Verlängerte, radiär angeordnete Cohnheim'sche Felder des Querschnittes, diesen entsprechend platte bandartige Muskelsäulchen; Kerne im Innern der Muskelfaser in einer oder mehreren Reihen; Sarkoplasmageäder des Querschnittes von grösseren, die Kerne umgebenden Ansammlungen federartig ausstrahlend. Dagegen die Beschaffenheit des *Hydrophilus*-Muskels: Ebenmässig entwickelte, polygonale Cohnheim'sche Felder des Querschnittes, in der Mitte jedes Feldes eine Lücke; diesen Feldern entsprechend prismatische

---

[1] Sitzungsber. der mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. LXXXIX, Abth. III, S. 346, 1884.
[2] Marey, Annales des sciences naturelles. Ser. V. (Zoologie.) T. XII, p. 58. Paris 1869.
[3] Archiv für Anatomie und Physiologie, 1886. Physiologische Abtheilung, S. 67.
[4] Archives de physiologie normale et pathologique. Ser. II, Tome I, p. 5. Paris 1874.
[5] Breslauer ärztliche Zeitschrift, 1883, Nr. 18 u. Nr. 24 — und Recueil zoologique Suisse. Tom. I, p. 665. 1884.
[6] L. c.

von einem Canale durchzogene Muskelsäulchen; Kerne an der Oberfläche dicht unter dem Sarkolemma; Sarkoplasmageäder des Querschnittes mit ebenmässig entwickelten Maschen und Balken die Cohnheim'schen Felder umfassend, Sarkoplasma in der Lücke jedes Feldes.[1]

Die Zuckungscurve des Dyticusmuskels erwies sich als übereinstimmend mit der Curve der flinken (weissen), die Zuckungscurve des Hydrophilusmuskels als übereinstimmend mit der Curve der trägen (rothen) Muskeln der Wirbelthiere.

Es ist schon viel über die Bedeutung der Farbe, welche an den Muskeln der Wirbelthiere zu beobachten ist, geschrieben[2] worden.

Durch Ranvier's Untersuchungen an den Muskeln von Kaninchen wurde erwiesen, dass bei diesem Thiere Farblosigkeit der Muskeln, bestimmte histologische Charaktere und rascher Verlauf der Zuckung einerseits; rothe Färbung der Muskeln, andere histologische Eigenschaften nnd gedehnter Verlauf der Zuckung andererseits zusammentreffen. Spätere Erfahrungen haben aber gezeigt, dass flinke und träge Muskeln nicht immer auch durch die Farbe sich unterscheiden. Die Farbe kann also nicht als eine constante Begleiterscheinung einer bestimmten physiologischen Qualität der Muskelfasern angesehen werden, geschweige als eine nothwendige Bedingung für die letztere. Schon bei niedriger stehenden Wirbelthieren kommt trotz der Anwesenheit von rasch und träge zuckenden Fasern durchaus weisses Fleisch vor. Beim Menschen und bei vielen höheren Wirbelthieren ist das Fleisch dagegen durchaus roth und doch sind flinke und träge Muskelfasern darin enthalten, was ja Grützner[3] veranlasst hat, hier von „so zu sagen weissen Muskeln, die mit einem rothen Farbestoff durchtränkt sind," zu sprechen.

Was die Evertebraten betrifft, so hat zuerst Richet[4] für den Flusskrebs das Vorkommen von trägen (in den Scheren) und flinken (im Schwanze) Muskelfasern nachgewiesen, und hier sind beide Muskelarten weiss. Ich glaube, dass man um der Bezeichnung: „weisse und rothe Muskelfasern" willen, die nach Ranvier's anfangs sehr vereinzelter Beobachtung sich eingelebt hat, den Thatsachen nunmehr keinen Zwang mehr anthun sollte. Bei *Hydrophilus* kommen träge, bei *Dyticus* flinke Muskelfasern vor, beide sind auch bei diesen Arthropoden ungefärbt, und es wäre doch sonderbar, wenn man nun etwa bei *Hydrophilus* von gleichsam rothen Muskeln, denen aber der Farbestoff fehlt, sprechen wollte.

Das Vorkommen von flinken und trägen quergestreiften Muskelfasern ist offenbar eine Thatsache, welche viel durchgreifender in der Thierreihe vorhanden ist, als man anfänglich vermuthen konnte. Mich haben die früher angeführten Abweichungen des histologischen Baues der Muskelfasern von *Hydrophilus* und *Dyticus* und der Umstand, dass ähnliche Verschiedenheiten des Baues bei anderen Käferfamilien wiederkehren, veranlasst, die physiologischen Eigenschaften dieser abweichend gebauten Muskeln zu untersuchen und es liess sich wie gesagt bald constatiren, dass auch wesentliche Verschiedenheiten in den physiologischen Eigenschaften beider Muskelarten existiren.

Man wird zugeben, dass die Thatsache, dass die *Dyticus*-Muskeln rasch, die *Hydrophilus*-Muskeln dagegen träge zuckende Muskeln sind, sehr merkwürdig ist, und ein lebhaftes Interesse verdient. Muskelfasern, die, soweit wir das bis jetzt überschauen können, in Bezug auf eine ihrer hervorstechendsten physiologischen Qualitäten mit einer der zwei Arten von differenten Muskelfasern übereinstimmen, die bei höheren Thieren in verschiedenen Muskeln (rothen und weissen Muskeln des Kaninchen [Ranvier[5]]) oder nebeneinander in denselben Muskeln (Grützner[6]) vorkommen, spielen bei niedriger stehenden Thieren eine so aus-

---

[1] Vergleiche über beide Arten von Muskelfasern: A. Rollett, diese Denkschriften l. c., besonders Bd. LI, Taf. I, Fig. 3 und Fig. 6 und S. 29 u. d. f.

[2] Vergleiche Ranvier l. c.; E. Meyer, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1875, S. 217; Kühne, Untersuch. d. physiol. Inst. der Universität Heidelberg, Bd. II, S. 133; Krukenberg, Vergleichend physiologische Studien, 1. Reihe, 4. Abth. Heidelberg 1881, S. 44 und Grundzüge einer vergleich. Physiologie der contractilen Gewebe. Heidelberg 1886, S. 297.

[3] Grützner, Recueil zool. Suisse, etc. p. 680.

[4] Richet, Archiv. de Physiolog. norm. et pathol. 2. Ser., Tom. VI. Paris 1879, S. 262.

[5] Ranvier l. c.

[6] Grützner l. c.

schliessliche Rolle im locomotorischen Apparate, dass sie nach einzelnen Species getrennt beobachtet werden, wie das eben bei Dyticus und Hydrophilus der Fall ist.

II. Ältere Versuche an Insectenmuskeln und darauf Bezügliches.

Mit den Reizversuchen, welche ich an Käfermuskeln anstellte und deren nähere Beschreibung mir in dieser Abhandlung obliegt, hatte ich ein Gebiet betreten, welches vorher gerade nicht besonders cultivirt worden war.

Physiologische Versuche an Insectenmuskeln liegen zwar schon in einiger Anzahl vor. Aber diese betreffen zum Theile ganz andere Fragen, als ich sie mir in Beziehung auf die Skeletmuskeln von Dyticus und Hydrophilus stellte und forderten darum auch eine andere Technik, als ich sie bei meinen Versuchen anwenden musste. Dahin gehören die früher erwähnten Versuche an den Flugmuskeln und die merkwürdigen Versuche von F. Plateau[1] über die Lasten, welche Insecten bei Zug, Flug und Sprung heben. Diese sollen das Körpergewicht um mehr als das 50fache übertreffen können.

In nähere Beziehung zu unseren Versuchen treten dagegen die zahlreichen Versuche und Beobachtungen, welche von Brücke[2], Kühne[3], Aeby[4] u. A. an ausgeschnittenen, überlebenden Muskeln von Tracheaten angestellt wurden über eine Erscheinung, die von Bowman[5] entdeckt wurde und darin besteht, dass man oft viele Stunden lang unter dem Mikroskope an ausgeschnittenen und aufpräparirten Muskelfasern mehr oder weniger lebhafte Bewegungen von sehr wechselndem Charakter wahrnehmen kann. Ich habe mich selbst in der letzteren Zeit mit diesen noch lange nicht genug studirten Bewegungen beschäftigt. Sie tragen bald den Charakter von raschen, bald den von trägen Zuckungen an sich, bald auch sehen sie tetanischen Contractionen ähnlich oder äussern sich in wellenförmig über die Muskeln ablaufenden Contractionen.

In allen diesen Formen können sie zeitlich in ganz unregelmässigen Intervallen sich wiederholen, sehr häufig kehren sie aber auch in ganz regelmässigen Perioden rhythmisch sich wiederholend, also in Form von Pulsen wieder.

Die Neigung ausgeschnittener überlebender Insectenmuskeln in diese freiwilligen Bewegungen zu verfallen ist, was ich hier allein hervorheben muss, eine so grosse, dass sie die Besorgniss wachruft, dass jene Bewegungen an frei präparirten Insectenmuskeln Studien über die Frage des Verlaufes und die Dauer der Einzelzuckungen oder des mittelst zu beherrschender Reizmittel zu erhaltenden Tetanus völlig vereiteln dürften. Diese Besorgniss ist, wie wir später sehen werden, nicht gerechtfertigt.

Es gelingt vielmehr auch frei präparirte, überlebende Insectenmuskeln in einem Zustande zu erhalten, in welchem sie in ähnlicher Weise, wie isolirte Muskeln von Wirbelthieren, nur in völlig zu beherrschender Weise auf Reize antworten; allein wenn man Versuche der letzteren Art intendirt, bekommt man es in der That mit von Seite der sogenannten freiwilligen Bewegungen drohenden Schwierigkeiten zu thun und man muss immer ganz besonders darauf bedacht sein, jeden Verdacht der Einmischung solcher freiwilliger Bewegungen völlig auszuschliessen.

Mittelst elektrischer Reize sind an die Untersuchung der Muskeln von Insecten und zwar jener zwei Käfer, die auch uns am meisten beschäftigen sollen, schon vor einiger Zeit v. Fleischl[6] und Schoenlein[7] herangetreten.

---

[1] F. Plateau, Bulletins de l'Académie royale de Belgique. Sér. II, Tom. XX, S. 732, Tom. XXII, p. 283. Bruxelles 1865 u. 1866.

[2] Brücke, Denkschriften der kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. XV, S. 76, 1858 (Käfermuskeln).

[3] Kühne, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1859, S. 812 (Käfermuskeln).

[4] Aeby, Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der quergestreiften Muskelfaser. Braunschweig 1862, S. 61 (Spinnenmuskeln).

[5] Bowman, Philosophical Transactions of the royal society of London 1840, Part. II, S. 488 u. d. f.

[6] v. Fleischl, Centralblatt f. d. medic. Wissenschaften 1875, Nr. 29, S. 469.

[7] Schoenlein, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1882. Physiol. Abth., S. 369.

Auch diese Versuche scheinen auf den ersten Blick die Beantwortung der oben berührten Fragen mit Schwierigkeiten zu bedrohen.

v. Fleischl stach durch den Oberschenkel eines abgeschnittenen Beines von Hydrophilus piceus zwei Stahlnadeln einige Millimeter von einander entfernt und leitete mittelst derselben einen sehr schwachen constanten Strom zu. Er beobachtete dann bei Schluss und Öffnung des Stromes sehr complicirte Bewegungen des Beines, die mit den Einstichsorten und der Intensität des Stromes wechselten.

Ihr allgemeiner Charakter war aber folgender: Die durch einmalige Reizung ausgelösten Bewegungen haben in einigen Gelenken das Aussehen von Zuckungen, in anderen das von verschieden lang andauernden tetanischen Contractionen. Die Zeit nach ein und derselben Reizung, in welcher einzelne Gelenke anfangen sich zu beugen oder zu strecken, und in welcher sie wieder zur Ruhe kommen, ist eine sehr verschiedene. Kurz es tritt, wie v. Fleischl angibt, der Effect einer Reizung in mehrere Acte zerlegt auf, die durch deutliche Intervalle getrennt sind. Ehe ich mir erlaube, über diesen Versuch weitere Bemerkungen zu machen, will ich auch über die Versuche von Schoenlein berichten, der mit Inductionsströmen arbeitete. Sie nehmen einen sehr eigenthümlichen Ausgang. Schoenlein[1] hatte sich kurz zuvor mit der Anfangszuckung beschäftigt und war zur Auffassung gelangt, dass von den verschiedenen Hypothesen, welche über dieselbe aufgestellt worden sind, die Annahme, dass die Anfangszuckung auf einer Summation unterwerthiger, einzeln zur Auslösung einer Contraction nicht hinreichender Reize beruhe, das Meiste für sich habe.

Darum drängte sich ihm der Gedanke auf, zu untersuchen, ob es nicht möglich sei, die willkürlichen Muskeln durch gleichmässige Reizung mittelst Inductionsströmen in der für die Anfangszuckung nothwendigen Frequenz und Stärke zu rhythmischen Contractionen zu veranlassen, ähnlich wie sie das Herz macht. Man könne sich im Muskel fester und lockerer gebundene Atomgruppen vorstellen und annehmen, dass durch Reize bestimmter Art nur die lockerst gebundenen Atome zu Leistungen veranlasst werden. Sind sie verbraucht, dann müssen sie durch Regeneration erst wieder ersetzt werden, ehe derselbe Reiz wieder wirksam werde, so könnte es aber, meint Schoenlein, unter den für die Anfangszuckung nothwendigen Bedingungen ohne eines besonderen Reize sammelnden Apparates, wie beim Herzen zu einem Wechsel von Contraction und Ruhe kommen. Von solchen Vorstellungen ausgehend, die wir nur anführen, die wir aber ebenso wenig hier einer Kritik unterwerfen wollen, als die Anfangszuckung selbst, fragt sich Schoenlein, warum die Untersucher der Anfangszuckung keine Pulsationen des Froschmuskels gesehen haben und supponirt dann, dass der Grund dafür vielleicht darin liege, dass der Reiz, welcher die Anfangszuckung hervorbrachte, zu kurz dauerte.

Versuche, die er in dieser Rücksicht am Gastrocnemius des Frosches anstellt, fallen wenig befriedigend aus. Da kam Schoenlein die Angabe von Richet[2] über rhythmische Veränderungen in der Curve tetanisch gereizter Krebsscherenmuskeln in die Hand, und als er diese Angabe geprüft und bestätigt gefunden, wählt er für seine Versuche nebst den Krebsmuskeln auch noch die Muskeln anderer Arthropoden in specie die Muskeln der Beine grosser Wasserkäfer (*Dyticus* und *Hydrophilus*) aus. Er findet nun, wenn er die im abgetrennten Femur liegenden Muskeln mit Inductionswechselströmen von hoher Frequenz und sehr geringer Stärke reizt: 1. rhythmische Contractionen *(Dyticus)*; 2. rhythmisch unterbrochene Tetani (*Hydrophilus* und Krebs); 3. Ruhepausen zwischen Contractionen in mannigfach wechselnden Einzelbildern. Die gewöhnliche Reizfrequenz, deren er sich bedient, ist 880 in der Secunde, die Erscheinungen sind aber auch bei anderen Frequenzen darzustellen. Die Grenzen sind viel weitere, als die für die sogenannte Anfangszuckung; eine obere war nicht zu finden, die untere reichte für die Käfer bis 100 und 80 in der Secunde, für den Krebs bis 30 in der Secunde. In Bezug auf die Stromstärke sei die Rhythmik von eben wirksamen Rollenentfernungen an auf 1—2^{mm}; also auf ein sehr kleines Intervall des Schlittens eingeschränkt. Bei weiterer Annäherung gehe die Rhythmik immer in glatten, ununterbrochenen Tetanus über. Das sind in Kürze die Resultate, zu welchen Schoenlein bei seinen Untersuchungen an Käfermuskeln gelangte.

[1] Schoenlein l. c. S. 357.
[2] Richet l. c.

Sowohl in den Beobachtungen v. Fleischl's, als in jenen von Schoenlein spielen wieder durch eigenthümliche Periodicität und Rhythmik ausgezeichnete Erscheinungen die Hauptrolle.

Diesen Erfahrungen gegenüber muss man sich billig fragen, ob es denn bei dem Insectenmuskel nicht auch möglich ist, über den zeitlichen Verlauf der Einzelzuckung und über die Reaction derselben auf eine von 0 bis zu einem bestimmten Maximum in der Secunde steigende Zahl von Einzelreizen etwas zu erfahren. Gerade diese fundamentalen Erfahrungen wären ja nicht nur für die Entscheidung der Frage, ob mit dem abweichenden Bau bei den Insectenmuskeln auch verschiedene physiologische Qualitäten zusammentreffen, sondern gewiss auch für die Beurtheilung der am locomotorischen Apparate der Insecten während des normalen Ablaufes des Lebens auftretenden Erscheinungen die nothwendigsten.

Es ist mir sehr auffallend, dass weder v. Fleischl, noch auch Schoenlein auch nur mit einem Worte der Verwandtschaft der von ihnen an Käfermuskeln beobachteten Erscheinungen mit den sogenannten freiwilligen Contractionen überlebender Insectenmuskeln, die wir früher erwähnt haben, gedenken.

Diese Bewegungen zeigen uns, dass verletzte, überlebende Insectenmuskeln sehr leicht in einen Zustand gerathen, in welchem sie Reize mit periodischen Bewegungen beantworten. Die Natur des Reizes, welcher die früher erwähnte Art dieser Bewegungen hervorbringt, können wir nicht sicher angeben, und darum haben wir uns gewöhnt, sie freiwillige zu nennen. v. Fleischl und Schoenlein sahen nun ähnliche Bewegungen an Käfermuskeln nach bestimmten Formen der elektrischen Reizung auftreten, und da war es jedenfalls zu berücksichtigen, dass man es in beiden Fällen mit überlebenden, durch das Eintreiben der Elektrodennadeln überdies mechanisch geschädigten Muskeln zu thun hatte, die also dem Zustande, in welchem Insectenmuskeln Reize mit periodischen Bewegungen beantworten, jedesfalls nahe gebracht waren.

Im Jahre 1882, in welchem Schoenlein seine Versuche publicirte, konnte die an den Käfermuskeln beobachtete, in Folge von elektrischer Reizung auftretende Rhythmik auch nicht mehr in der Vereinsamung hingestellt werden, wie es Schoenlein gethan hat, indem er sich auf eine ganz besondere und eigenthümliche Art der elektrischen Reizung, sehr hohe Frequenz äusserst schwacher Inductionswechselströme beschränkte.

Denn es waren zu jener Zeit schon Thatsachen bekannt geworden, welche einerseits die Aufmerksamkeit der Physiologen nothwendig wieder auf die lange bekannten freiwilligen periodischen Bewegungen ausgeschnittener Insectenmuskeln hinlenken mussten, andererseits aber auch darthaten, dass rhythmische Contractionen quergestreifter Muskelfasern viel ausgedehnter beobachtet werden können, als man früher glaubte, und durch sehr verschiedenartige Einflüsse hervorgerufen werden können. Hieher gehören die von Hering,[1] Kühne[2] und Biedermann[3] beobachteten, in Folge von elektrischer Reizung durch den eigenen Strom des Muskels oder durch schwache constante Ströme oder aber in Folge von chemischen Reizen auftretenden rhythmischen Bewegungen der Froschmuskeln, zu denen nachträglich noch die späteren Beobachtungen von Biedermann[4] über rhythmische Contractionen quergestreifter Muskeln unter dem Einflusse des constanten Stromes kamen.

Biedermann[5] entwickelte insbesonders nach Mittheilung einer Reihe von Beobachtungen über rhythmische Contractionen von Froschmuskeln, dass an denselben unter ganz ähnlichen Bedingungen wie an der abgeschnittenen Herzspitze eine analoge rhythmische Thätigkeit auftritt. Zwar seien die Contractionen des Herzpräparates ungleich regelmässiger und gleichförmiger und gleichmässig und gleichzeitig in allen Muskelfasern erfolgend, während sich in den Skeletmuskeln niemals sämmtliche Fasern gleichzeitig und gleichstark

[1] Hering, Sitzungsber. der mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXXIX, Abth. III, S. 7, 1879.

[2] Kühne, Untersuch. aus d. physiol. Instit. d. Univ. Heidelberg, Bd. III, S. 1, 1879.

[3] Biedermann, Sitzungsber. der mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXXXII, Abth. III, S. 257. 1880.

[4] Biedermann l. c. Bd. LXXXVII, Abth. III, S. 115, 1883.

[5] Biedermann l. c. Bd. LXXXII, Abth. III, S. 269.

contrahiren, sondern vielmehr eine heerdweise Erregung auftrete, das ändere aber nichts an dem Satze, dass es nicht eine ausschliesslich dem Herzmuskel als solchem zukommende Eigenthümlichkeit ist, auf gewisse Reize anstatt mit dauernder gleichförmiger Erregung mit rhythmischer Thätigkeit zu antworten; diese Eigenschaft komme vielmehr, wenn auch in geringem Grade, den gewöhnlichen quergestreiften Stammesmuskeln ebenfalls zu.

Biedermann hatte also schon auf die Analogie der rhythmischen Bewegungen quergestreifter Skeletmuskeln mit den Bewegungen des Herzmuskels hingewiesen, und zwar von viel allgemeineren Gesichtspunkten aus, als dies Schoenlein, wie wir früher angaben, für die von ihm beobachteteten rhythmischen Bewegungen von Käfermuskeln später gethan hat.

Wäre in der That, wie Schoenlein besonders andeutet, die Rhythmik der elektrisch gereizten Käfermuskeln auf periodisch ablaufende Erschöpfung und Erholung zurückzuführen, so würde sie mit Rücksicht auf die Erfahrungen, welche am Herzmuskel namentlich von Kronecker und Stirling[1] und später von Martius[2] gemacht wurden, unser grösstes Interesse verdienen. Dann müsste man aber auch an das Studium derselben nicht mit einer beschränkten Form der elektrischen Reizung (sehr hohe Frequenz sehr schwacher Inductionsschläge) herantreten, sondern sich von vorneherein die grosse Wahrscheinlichkeit vor Augen halten, dass man die Erscheinung der Rhythmik dann auch auf mannigfache andere Weise wird darstellen können, wofür ja eine ganze Reihe der früher angeführten Erfahrungen sprechen. Man müsste das umsomehr festzustellen suchen, als gerade die Art und Weise, wie Schoenlein reizte, mancherlei Einwürfe zulässt.

Wir werden uns später durch zahlreiche Versuche darüber belehren, dass unter gewissen Bedingungen der unverletzte, überlebende Insectenmuskel äusserst prompt die Reize abbildet, die ihn treffen. Man kann sich aber keine Form der elektrischen Reizung vorstellen, bei welcher die Gefahr, dass eine artefacte, durch die Unvollkommenheiten des Reizapparates allein bedingte Rhythmik auftrete, so gross ist, wie bei dem Verfahren von Schoenlein. Kronecker[3] hat besonders hervorgehoben, auf welchem gefährlichen Terrain man sich befindet, wenn man bei möglichst weit von einander entfernten Spiralen des Schlitteninductorium Tetanisirungsversuche anstellt. Um hier sicher zu sein, muss man sich eines äusserst vollkommenen, regelmässig wirkenden und in Bezug auf alle einzelnen Contacte leicht und sicher controlirbaren Unterbrecherwerkes bedienen.

Auf die Unverlässlichkeit von Unterbrechern, die nach Art der König'schen Gabeln wirken, und eines solchen bediente sich Schoenlein bei seinen Versuchen, haben Kronecker und Stirling[4] hingewiesen.

Allzu leicht geschieht es hier, dass das Quecksilber selbst mehrere ganz regelmässig übereinanderliegende Perioden annimmt und sich dann ganz abgesehen von dem Einfluss der Funkenbildung auf die Metalloberfläche periodisch bessere und schlechtere Contacte erzeugen.

Durch solche Unregelmässigkeiten im Contacte werden aber bekanntlich gerade die Erscheinungen bei eben wirksamer Entfernung der Spiralen am meisten beeinflusst.[5] Aus leicht begreiflichen Gründen. Eben merkliche Contacte und die sich in aufsteigender Reihe daran anschliessenden geben dann keine wirksamen Inductionsströme, solche kommen nur bei den ausgiebigeren Contacten noch zu Stande. Steigert man aber durch Aufschieben der secundären Spirale die Stromstärken, dann erweisen sich auch die schlechteren Contacte noch als wirksam.

Und so könnte bei ganz unverändertem Gange des Unterbrechers der Muskel bei grossem Abstande der Spiralen rhythmische Thätigkeit, bei geringerem Abstande einen glatten Tetanus anschreiben.

In beiden Fällen hätte er aber nur ein Bild der Reize gegeben, die ihn wirklich getroffen haben.

---

[1] Kronecker u. Stirling, Beiträge zur Anatomie und Physiologie; als Festgabe Carl Ludwig gewidmet. Leipzig 1885, S. 173.

[2] Martius, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1882. Physiol. Abth., S. 543.

[3] Kronecker, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1877. Physiol. Abth., S. 571.

[4] Kronecker u. Stirling, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1878. Physiol. Abth., S. 17.

[5] Kronecker l. c.

Dafür, dass bei den Versuchen von Schoenlein an den Arthropodenmuskeln nicht auch solche Momente die beobachtete Rhythmik mit bedingten, spricht nur der Umstand, dass es ihm, wie es scheint, nicht gelang, die gleichen Erscheinungen an Froschmuskeln darzustellen.

Man kann aber diese Controle, wie wir später sehen werden, nicht als ausreichend ansehen, und es würde sehr wichtig sein, die Versuche Schoenlein's noch auf andere Weise, etwa mittelst eines Toninductorium, was sich ja Schoenlein selbst einmal vorhält, zu wiederholen.

Wie sich die freiwilligen periodischen Bewegungen ausgeschnittener Arthropodenmuskeln und die von Fleischl und von Schoenlein an Käfermuskeln und von Richet an Krebsmuskeln beobachteten periodischen und rhythmischen Erscheinungen in ihren Einzelnheiten auch noch aufklären mögen, wir können in der Rhythmik vorläufig nicht etwas erblicken, was gegenüber den Wirbelthiermuskeln ohne Analogie dastünde, vielmehr sprechen unsere Erfahrungen dafür, dass wir es an den Muskeln beider mit analogen, bei den Evertebraten wahrscheinlich nur in Bezug auf die Bedingungen des Eintrittes und die Andauer begünstigten Erscheinungen zu thun haben. Und so wird auch die sonst gewiss auffallende Thatsache verständlich, dass man sich an den Evertebratenmuskeln gerade von diesen Erscheinungen[1] vor Allem hat einnehmen lassen, während das Studium derselben lange nicht unter die nächsten Aufgaben der Physiologie der quergestreiften Skeletmuskeln der Wirbelthiere gehörte.

Ich will aber nun auch für die Insectenmuskeln einen ähnlichen Weg einschlagen, wie man ihn bei den Studien über die Wirbelthiermuskeln gegangen ist.

Ich werde mich in den nachfolgenden Mittheilungen ganz vorzugsweise mit den als prompte Beantwortung von Einzelreizen erfolgenden Bewegungsvorgängen der Insectenmuskeln beschäftigen, die rhythmischen Bewegungen derselben will ich vorerst möglichst vermeiden und einer späteren Mittheilung aufbehalten.

Ganz selbstverständlich erscheint uns nach dem Entwicklungsgange, welchen die Physiologie der Muskelbewegung bei den Wirbelthieren genommen hat, eine von den Willensorganen oder den Reflexcentren unabhängige Rhythmik der Skeletmuskeln als etwas Abnormes, weil sich kein Nutzen, im Gegentheile nur ein störender Einfluss einer solchen von den Reizimpulsen innerhalb bestimmter Grenzen unabhängigen Rhythmik für die vom Nervensystem beherrschten Bewegungen jener Muskeln und den an denselben zu Tage tretenden Willens- und Reflexacten der Thiere absehen lässt.

Es scheint mir aber, dass man sich bei der Beurtheilung der für die Biologie der wirbellosen Thiere wichtigen Bewegungsvorgänge an den Gliedermuskeln derselben, vielleicht einige ganz specielle Leistungen derselben ausgenommen, auch auf keinen anderen Standpunkt wird stellen können.

Wie interessant also die rhythmischen Vorgänge für die Erkenntniss des Wesens der Muskelthätigkeit vielleicht auch noch werden mögen, gegenüber der Muskelthätigkeit der lebenden Thiere, werden wir sie als etwas Abnormes bezeichnen müssen und nicht in erster Reihe zu berücksichtigen haben.

Laulanié,[2] welcher Larven von *Corethra plumicornis* sehr lange vom vollkommen lebenskräftigen Zustande an durch alle Stadien des Absterbens hindurch beobachtete, unterscheidet sehr scharf die Muskelbewegungen des lebenskräftigen Thieres von den eigenthümlichen Bewegungen, welche erst an den überlebenden Muskeln des absterbenden Thieres auftreten.

Die ersteren bezeichnet er als „secousses" und sieht sie als den Ausdruck der normalen Muskelthätigkeit an; die letzteren nennt er „ondes musculaires" und sieht sie als Ausdruck der eigenen Thätigkeit überlebender Muskeln an, die damit in eine „Periode der Anarchie" gelangen, welche „Scheintod vom wirklichen Tode" scheide.

---

[1] Vergleiche auch de Varigny, Sur le tétanos rythmique chez les muscles d'invertébrés. Archives de physiologie normale et pathologique, t. 7, Sér. III. Paris 1886, p. 151.

[3] Laulanié, Sur les phénomènes intimes de la contraction musculaire dans les faisceaux primitifs striés. Compt. rend. T. CI. Paris 1885, p. 669.

Die Bezeichnungen, welche Laulanié für diese Erscheinungen gebraucht, die Verallgemeinerung, in welcher er sie hinstellt und die Auslegungen, welche er ihnen gibt, können allesammt einer strengen Kritik nicht standhalten.

Aber das Thatsächliche seiner Beobachtungen über die Folge der Erscheinungen bei den utersuchten *Corethra*-Larven scheint mir den so vielfach mit Vorliebe behandelten rhythmischen Contractionen isolirter Evertebratenmuskeln gegenüber sehr für unsere früher auf Grund allgemeinerer Erwägungen ausgesprochene Anschauung von der untergeordneten Bedeutung jener Bewegungen auch bei den Evertebraten zu sprechen.

III. Vorrichtung der Versuchsthiere, Einrichtung der Versuche.

Ich musste darauf ausgehen, bei den Käfern Muskeln ausfindig zu machen, welche sich ohne wesentliche Verletzung leicht blosslegen lassen. Das sind bei *Dyticus* und *Hydrophilus* die Muskeln, welche den Femur des hintersten Beinpaares bewegen. Um zu diesen Muskeln zu gelangen, entferne ich Flügeldecken und Flügel. Dann schneide ich, vom hinteren Leibesende ausgehend, den weichen dorsalen Theil der Abdominalringe (die Haut des Rückens des Abdomens) los. Der Schnitt folgt an beiden Seiten der Grenze zwischen Rücken und Bauchfläche des Abdomens und wird bis zum Übergange des Abdomens in die Flügelbrust geführt.

Wird der so gebildete Hautlappen dann nach vorne über die Flügelbrust umgeschlagen, so liegen die im Abdomen befindlichen Eingeweide bloss und lassen sich leicht aus dem Abdomen entfernen. Damit sind wir aber auch an die Muskeln gelangt, die uns zu den Versuchen dienen sollen.

Sie liegen im hinteren, gegen das Abdomen vorspringenden Ende der unteren Hälfte der Flügelbrust zu beiden Seiten der Mittellinie. Es handelt sich nur noch um die Entfernung von oft mehr, oft weniger bedeutenden und die Muskeln noch theilweise bedeckenden Resten des Fettkörpers.

Alle diese Operationen können ohne Verletzung des Bauchstranges, abgesehen natürlich von den zu den Eingeweiden gehenden Nerven, vorgenommen werden, so dass, wenn man den Hautlappen über das entleerte Abdomen wieder herabschlägt, ein also eventrirter Käfer unter Gebrauch aller drei Beinpaare so herumläuft, als wie ein völlig intactes Thier. Das nächste, was nun zu geschehen hat, ist, dass der Bauchstrang aus dem Abdomen und so weit hinauf, als er sich zwischen die bilateral-symmetrisch gelegenen und durch eine tiefe Incisur in der Mittellinie von einander getrennten Bäuche der besagten Muskeln verfolgen lässt, mit Pincette und Scheere entfernt wird. Dabei dürfen die Muskeln selbst nicht angefasst oder gezerrt werden. Damit ist aber das hinterste Beinpaar noch nicht immobilisirt. Dazu bedarf es noch eines Schnittes von der ventralen Seite des Thieres her durch die Mitte des unteren Theiles der Flügelbrust (Fig. 4 und 5, *SS*). Dieser Schnitt bringt keine Verletzung der betreffenden Muskeln hervor; ich lege ihn mit der Scheere an, indem ich in der Mitte zwischen zweitem und drittem Beinpaare an dem aus Fig. 4 und 5 *SS* ersichtlichen Orte, beiderseits von der Mittellinie einige Millimeter entfernt, die spitzen Branchen einer Scheere von geeigneter Grösse mit ihrer Fläche senkrecht zur Längenaxe des Thieres bis zu einer gewissen Tiefe einführe und dann die Scheere zudrücke. Der Erfolg dieses Schnittes muss sein, dass das hinterste Beinpaar vollständig alle seine Bewegungen sofort einstellt. Nur wenn auf diese Weise jeder Einfluss centraler Gebilde auf die Muskeln des hintersten Beinpaares ausgeschlossen ist, und auch nach längerem Liegen und während des Versuches in den Pausen zwischen den applicirten Reizen keinerlei wie immer geartete Bewegung des hintersten Beinpaares auftritt, erhält man brauchbare Versuche. Dafür ist es aber nothwendig, dass die Muskeln selbst in keiner Weise verletzt werden. Ich habe jetzt die beschriebenen Operationen so in meiner Gewalt, dass ich äusserst selten ein Präparat verliere.

Ehe ich aber nun die Einrichtung der Versuche selbst beschreibe, muss ich noch einige Angaben über die physiologischen und anatomischen Eigenschaften der Muskeln machen, an welchen wir unsere Versuche anstellen wollen.

Aus dem, was ich früher vorgebracht habe, ist zu entnehmen, dass es sich bei den Versuchen zunächst um die Herstellung von Präparaten handelt, die aus allen centralen Verbindungen losgelöste, aber nicht entnervte Muskeln enthalten. Auf diese werden wir später die Reizelektroden direct appliciren. Es ist das die einzige Art, in welcher sich die Versuche an unseren Thieren als ausführbar erweisen. Eine Erregung der Muskeln vom Nerven aus erwies sich wegen der Unmöglichkeit, die motorischen Nerven unserer Muskeln frei zu präpariren, als unausführbar. Entnervte Muskeln für die directe Erregung zu gewinnen, scheitert, weil das Curare bei unseren Käfern seine Dienste versagt.

Ich habe diese Thatsache durch viele Versuche, bei welchen ich mit allerlei Modificationen mich bemühte, einen Erfolg herbeizuführen, nur immer neuerdings bewahrheitet gefunden. Es gelang mir niemals, einen Käfer durch Curareinjection in einer für die Versuche brauchbaren Weise vollständig zu immobilisiren, wenn sich auch unzweifelhaft sehr ausgesprochene eigenthümliche Symptome der eingetretenen Curarevergiftung einstellten. Diese Symptome näher zu besprechen, ist hier nicht der Ort. Anmerken will ich aber, dass mir die eigenthümlichen Bewegungen der Muskeln von mit Curare vergifteten Käfern ein grosses Interesse eingeflösst haben, und dass ich vielleicht in späterer Zeit im Stande sein werde, einige Mittheilungen zu machen, die geeignet sein dürften, etwas zur besseren Kenntniss der Curarewirkung bei Evertebraten beizutragen. Diese ist bekanntlich ein noch vielfach controverser Gegenstand, und von der Wirkung des Curare auf die Wirbelthiere zwar nicht durchgreifend, aber in vielen Fällen als ganz verschieden angegeben.[1]

Wir sind also bei unseren Versuchen auf directe Erregung von aus allen centralen Verbindungen losgelösten, aber nicht entnervten Muskeln beschränkt. Da nach den Untersuchungen Ranvier's die rothen und die weissen Muskeln vom Kaninchen sowohl bei der indirecten als bei der directen Erregung dieselben Abweichungen des Zuckungsverlaufes erkennen lassen, so kann uns diese Beschränkung vorerst keine weiteren Bedenken gegen die Ausführbarkeit der Versuche einflössen.

In anatomischer Beziehung ist zu erwähnen, dass die Muskeln, welche zu den Versuchen dienen sollen, die Beuger und Strecker des Femur des letzten Beinpaares sind. Es lässt sich zunächst ein sehr einfaches Schema für die Anordnung und Wirkungsweise unserer Muskeln und für das Gelenk, in welchem sie den Schenkel beugen und strecken, aufstellen. Dieses Schema gibt die Zeichnung Fig. 1, I und II, einem etwa dreifach vergrösserten Beine von *Dyticus* entsprechend.

Das Gelenk, in welchem die Bewegung des Beines stattfindet, ist das Gelenk zwischen Hüfte und Schenkelhals (Trochanter), welchen Langer[2] als Epiphysentheil des Schenkels (Femur) auffasst. Der Trochanter trägt die Gelenksköpfe (Condyle articulaire nach Strauss-Dürckheim[3]). Nach Langer,[4] dessen genaue Beschreibung der Hüftschenkelgelenke des dritten Beines von *Dyticiden* und *Hydrophiliden* am angeführten Orte sich findet, gibt es zwei solche eigentliche Gelenksköpfe in Form von gegenüberliegenden Zapfen, von denen einer nach der Rücken-, der andere kürzere nach der Bauchseite hinsieht. Sie liegen mit ihren Enden in Grübchen, kleinen Pfannen, welche sich je eine an der der Gelenkshöhle zugekehrten Seite der Randleisten der Gelenksöffnung der Coxa befinden.

Beugung im Hüftschenkelgelenke nenne ich in hergebrachter Weise die Bewegung des Schenkels in der Richtung nach dem Kopfende des Thieres; Streckung des Schenkels die Bewegung desselben in der Richtung gegen das Afterende des Thieres.

---

[1] Vergl. u. A. Steiner, Archiv f. Anat. u. Physiol. 1875, S. 145; Romanes, Philosophical Transactions of the royal Society of London. Vol. 166, part. I, p. 299. London 1876; Klemensiewicz, Sitzungsber. d. mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXXVIII, Abth. III, S. 40. Wien 1878; Krukenberg, Vergleich. physiol. Studien, 1. Reihe, Abth. I, S. 34, 77, 156; Abth. III, S. 124. Heidelberg 1880.

[2] Langer, Über den Gelenksbau bei den Arthrozoen. Denkschr. d. kais. Akad. d. Wissensch. (Mathem.-naturw. Cl.) in Wien, Bd. XVIII, S. 99. Wien 1860.

[3] Strauss-Dürckheim, Considérations générales sur l'anatom. comp. des animaux articulés. Paris 1828, p. 86, 100 und 114.

[4] Langer l. c. S. 123.

In Fig. 1, I bedeutet AL ein Stück der Längsaxe des Thieres; T den Trochanter, F den Schenkel, Ti die Tibia des Beines.

Von dem zu Fig. 1, I gezeichneten, durch die Radien $D\alpha$ und $D\beta$ und durch die Radien $D\alpha'$ und $D\beta'$ und die Bogen $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ begrenzten Kreissectoren möge man vorläufig absehen. Wir werden diese Construction erst später brauchen, um einige Bemerkungen an dieselbe zu knüpfen.

C in Fig. 1, I ist ein Gelenkskopf, und zwar von der Dorsalseite des Thieres gesehen.

Derselbe ist das Ende eines länglichen Zapfens, welcher in der über demselben gelegenen Pfanne ruht, gegenüber liegt der zweite Gelenkskopf an einem kürzeren Zapfen, der in einer unter demselben befindlichen Pfanne ruht.

Das ist in Fig. 1, II zu sehen, die einen von rechts nach links gelegten Durchschnitt durch das Gelenk bei senkrecht auf die Längsaxe stehendem Beine darstellt.

Die obere Pfanne ist mit P, die untere mit L bezeichnet. Die übrigen Buchstaben bedeuten dasselbe, wie in Fig. 1, I. Die Drehungsaxe der Schenkelköpfe ist in Fig. 1, I und II mit D bezeichnet.

An den den oberen Gelenkskopf bildenden Zapfen setzen sich nun die Sehnen st und b (Fig. 1, I und II) der Streck- und Beugemuskeln St und B (Fig. 1, I) in der in der Zeichnung ersichtlichen Weise an. Der Bauch der Streckmuskeln, Fig. 1, I St, liegt mit seiner inneren Seite immer zunächst seitlich an der Längsaxe des Thieres, Fig. 1, I AL); nach aussen reicht er verschieden weit, je nach der Mächtigkeit der Strecker bei den verschiedenen Arten. Nach aussen und unten von dem Bauche der Streckmuskeln, also von diesem ganz oder theilweise bedeckt, oder auch sehr stark nach aussen gelagert und dann von den Streckmuskeln nicht bedeckt, findet sich der Bauch der Beugemuskeln Fig. 1, I B.

Die vorausgehende Orientirung wird genügen, um jetzt die weitere Herrichtung der Präparate von *Dyticus* und *Hydrophilus*, welche ich für Reizversuche benützte, auseinander zu setzen. Die anatomischen und topographisch-anatomischen Details sind bei beiden Käfern etwas andere.

Ihre genaue Kenntniss ist uns nothwendig.

Erstens für die Technik unserer Versuche. Wir müssen im Stande sein, die zwei antagonistisch wirkenden Muskeln genau von einander zu sondern, um die Wirkung eines derselben allein darstellen zu können.

Eine solche Sonderung der functionell verschiedenen Muskeln ist aber zweitens auch eine wichtige Voraussetzung für die vergleichenden Versuche, welche wir an unseren Thieren anstellen wollen.

Es könnte ja bei den Käfern eine ähnliche Einrichtung antagonistisch wirkender Muskeln verwirklicht sein, wie sie nach Ritter's[1] von mir[2] in ihr altes Recht eingesetzten Angaben beim Frosche vorkommt, von welcher wir durch die Untersuchungen von Grützner[3] wissen, dass sie ihre wesentliche Erklärung in der Anwesenheit und dem numerischen Verhältnisse von rasch und von träge zuckenden Muskelfasern findet.

Die Skizzen Fig. 2, 3, 4 und 5 werden für die geforderte Orientirung ausreichen und zugleich zur später folgenden Erläuterung unserer graphischen Versuche dienen. Fig. 2 und 3 stellen *Dyticus* und *Hydrophylus* von der Rückenseite gesehen, nach Entfernung der Flügeldecken und Flügel und Eröffnung und Entleerung des Abdomens dar. Fig. 4 und 5 geben eine Ansicht der Bauchseite. In Fig. 2 *(Dyticus)* bedeuten ADM die Schnittränder der abgetragenen Rückenhaut des Abdomen (vergl. das Frühere, p. 9 [201]). In der Linie AD, welche die Grenze von Flügelbrust und Abdomen darstellt, ist, um die Zeichnung zu vereinfachen, der Hautlappen ganz abgetrennt gedacht.

St-St bedeuten die nun zu Tage liegenden kräftigen Strecker des Schenkels von *Dyticus*, die Beuger werden bei diesem Thiere von den Streckern ganz bedeckt, wir werden die Beuger erst später an der Bauchseite betrachten.

In Fig. 3 (*Hydrophilus*) bedeutet ADM dasselbe, wie in Fig. 2.

---

[1] L. c.
[2] L. c.
[3] Grützner l. c.

St-St sind wieder die Strecker des Schenkels, welche frei zu Tage liegen. *B* bedeutet die Beuger, welche hier ganz nach aussen von den Streckern liegen. Sie sind in der Zeichnung auf der einen Seite durch die Schraffirung angedeutet, in Wirklichkeit sind sie aber nach Herstellung des gezeichneten Präparates noch von zwei Chitinlamellen bedeckt, nämlich von der inneren und oberen Chitinwand der bei diesem Thiere walzenförmigen und beweglich zwischen Abdomen und Flügelbrust eingelenkten Hüfte (Coxa) und einer dem ersten Abdominalringe angehörigen Lamelle, welche die obere und innere Wand der zur Aufnahme der Hüfte bestimmten Pfanne bildet. Näheres darüber soll auch bei Betrachtung der Bauchseite noch berichtet werden.

Die Bauchseite von *Dyticus* ist in Fig 4 dargestellt. Ein Umstand erleichtert hier die Orientirung über die fraglichen Muskeln sehr wesentlich. Es ist nämlich sowohl an noch lebenden Thieren, als auch an solchen, die in Alkohol liegen, die Coxa völlig transparent.

Die Coxa des hintersten Beinpaares ist bei diesen Thieren eine flügelförmige Platte *C* (Fig. 4), welche mit den Chitindecken des Abdomens und der Flügelbrust fest verwachsen ist.[1]

Man sieht nun vorerst besonders gut an Alkoholpräparaten durch die Coxa hindurch die mit *St*, *B* und *F* Fig. 4 bezeichneten getrennten Muskeln. Bei flüchtiger Betrachtung könnten die Trennungslinien der Muskeln leicht für eine besondere Zeichnung auf der Chitinplatte der Coxa gehalten werden. Es gelingt aber leicht, mittelst einer flachen Lanzette durch die Chitinplatte hindurch zu gehen, dann dieselbe von den darunter liegenden Muskeln loszupräpariren und so die letzteren blosszulegen. *St* ist die ventrale Seite der Strecker. *B* sind die Beuger. *F* zeichnet sich durch seine gelbe Farbe aus und gibt sich dadurch sofort als Flugmuskel zu erkennen, was durch die mikroskopische Untersuchung leicht zu bestätigen ist.

Hat man sich vorerst an Alkoholpräparaten über diese Verhältnisse orientirt, so sind dieselben auch an noch lebenden Thieren leicht zu erfassen.

Von der Bauchseite her muss man bei *Dyticus* die Beuger aufsuchen und dieselben mittelst eines unter sie geführten stumpfen feinen Hakens herausheben, wenn man sie durchschneiden will, um an den Streckern nach Ausschaltung der Beuger experimentiren zu können. Den Schnitt führe ich in diesem Falle nahe der unteren Spitze von *B*, Fig. 4, mittelst einer feinen, der Schneide nach gekrümmten Scheere.

Die Bauchseite von *Hydrophilus*, Fig. 5, zeigt ein wesentlich anderes Bild. *C* stellt die walzenförmige, zwischen Flügelbrust und Abdomen eingelenkte Coxa dar.

Will man die in der Coxa liegenden Muskeln von der ventralen Seite sehen, so muss man die dicke äussere Chitinwand der Coxa mittelst eines scharfen Messers abtragen. Es präsentiren sich dann zwei Muskeln *B* und *F*, Fig. 5. *B* sind die in der Coxa liegenden und mit ihrer Längenaxe der Längenaxe der Walze parallelen Beuger des Schenkels. *F* von der oberen Hälfte der vorderen Wand der Coxa entspringende Flugmuskeln.

Bei diesem Thiere durchschneide ich die Beuger mittelst eines am inneren Ende der Walze durch die äussere Chitinwand eingestossenen feinen Tenotoms.

Will man zum Zwecke der anatomischen Orientirung die Beuger vollständig blosslegen, dann geschieht das am besten von der dorsalen Seite her. An Präparaten, wie Fig. 3, kann man zuerst die Strecker entfernen, man sieht dann in der Tiefe die Bündel der von der Coxa entspringenden, früher erwähnten Flugmuskeln. Hat man sich diese Ansicht verschafft, dann entferne man die ganze noch übriggebliebene Chitinhülle des Abdomens *ANDM*, Fig. 3. Es liegt dann die innere hintere Chitinwand der walzenförmigen Coxa, welche die Beugemuskeln (Fig. 3 *B*) bedeckt, frei; trägt man diese Chitinwand ab, so liegen die mächtigen Schenkelbeuger des *Hydrophilus* bloss.

An Alkoholpräparaten kann man nach dieser Präparation die Beugemuskeln leicht aus der Coxa herausheben, um sie zur Anfertigung von Zupf- oder Schnittpräparaten zu benützen. Handelt es sich bei den Käfern um die Durchschneidung der Schenkelstrecker, dann werden diese mittelst eines stumpfen Hakens von der

[1] Vergleiche Burmeister, Handbuch der Entomologie, Bd. I, S. 106. Berlin 1832 — und Imhoff, Versuch einer Einführung in das Studium der Coleopteren, S. 45. Basel 1856.

Dorsalseite her an Präparaten, wie in Fig. 2 und 3 unterfahren und mittelst einer kleinen Scheere der früher erwähnten Form durchschnitten.

Für unsere Reizversuche benützen wir Präparate, die so hergestellt sind, wie das Fig. 2 und 3 veranschaulicht, nur werden dann von vorneherein der Kopf und die zwei vorderen Beinpaare vollständig abgetrennt, während von dem dritten Beinpaare nur der benützte Schenkel und das an denselben grenzende letzte Ende der Tibia stehen bleibt. Zwischen dieses und den Schenkel knüpfe ich den Faden Fig. 2 und 3 *F*, welcher zur Verbindung von Bein und Schreibhebel bestimmt ist. Ausserdem schneide ich von der ventralen Chitinhülle des Abdomen noch soviel aus, als für die bequeme Application der Elektroden auf die Muskeln erforderlich ist. Durch die Lage von Fig. 2 und 3 soll zugleich veranschaulicht werden, welche Stellung das Präparat bekommt, wenn es sich um die graphische Darstellung von Streck- und Beugebewegungen handelt. Für die Darstellung der Streckungen ist die Lage jene der Fig. 2. Das Präparat steht mit der Längenaxe des Thieres vertical auf einer Korkplatte, deren Ebene in Fig. 2 durch die Pfeile *K* angedeutet ist, dabei läuft der Faden *F* in der Ebene des Schreibhebels auf diesen zu, und zwar senkrecht zur Längenaxe des Thieres, welches mittelst Stecknadeln auf der Korkplatte befestigt ist, die ihrerseits auf der Platte des Myographion in geeigneter Höhe festgemacht wird.

Tritt Streckung des Schenkels ein, dann bewegt sich das Ende des Fadens, welches an das Bein geknüpft ist, in der Richtung nach aufwärts gegen die Mittellinie des Thieres, welches zugleich in solcher Lage befestigt sein muss, dass bei der Drehung des Beines im Hüftschenkelgelenke der Faden auch in der Drehungsebene des Beines bleiben muss. Der Faden wird sehr lang gewählt, so dass bei der unvermeidlichen Deviation des Fadens aus der Ebene des Schreibhebels, die während der Bewegung des Beines auftritt, der Winkel zwischen Faden und Hebelebene ein sehr kleiner bleibt. Es wird dann bei der Einrichtung des Marey'schen[1] Myographion durch diesen Fehler weder die Bewegung des Hebels, noch auch die Berührung zwischen Schreibspitze und Schreibfläche in störender Weise beeinflusst.

Für die Darstellung der Beugebewegungen muss dagegen das Präparat anders befestigt werden.

Diese zweite Art der Lagerung des Präparates veranschaulicht Figur 3.

KK bedeutet wieder die Korkplatte, auf welcher das Thier befestigt ist. Der Faden *F* für den Hebel läuft aber jetzt der Längenaxe des Thieres und der Korkplatte parallel. Der Schenkel befindet sich in der Strecklage.

Alle übrigen Vorsichten bei Lagerung und Befestigung sind hier ebenso einzuhalten wie früher.

Ich führe noch ausdrücklich an, dass beide Lagen für jeden der untersuchten Käfer gewählt werden müssen, je nachdem man eben bei *Dyticus* oder bei *Hydrophilus* sei es Streckungen, sei es Beugungen anschreiben will.

Ich benützte zu den Versuchen das Marey'sche Myographion, aber nicht jene Form, bei welcher der Hebel mit einer Feder gespannt,[1] sondern jene, bei welcher er mit Gewichten belastet wird.[2] Das Wageschälchen liess ich mir aus Aluminiumblech anfertigen, so dass es mit den Fäden zusammen 1 Grm. wog.

Ich verkenne nicht, dass der äusserst einfach construirte Apparat von Marey noch gegen vielerlei Einwürfe zu sichern sein wird. Zwar entspricht die Einrichtung des Hebels bei demselben den von Fick[3] aufgestellten Forderungen, allein der Umstand, dass mit einem ohne Geradführung versehenen, dafür aber mit seiner Spitze aus der Drehungsebene abgebogenen Hebel über der Mantelfläche eines rotirenden Cylinders geschrieben wird, lässt die Einrichtung, wenn es sich um die Ausmessung der Curven handelt, von vornherein etwas bedenklich erscheinen.

Ich werde in einem späteren Abschnitte auf diese Frage näher eingehen und zeigen, dass die Einrichtung von Marey in der That weit weniger bedenklich ist, als es für den Anfang scheint.

---

[1] Marey, Du mouvement dans les fonctions de la vie, p. 539. Paris 1868.
[2] Marey, La méthode graphique, p. 194. Paris 1878.
[3] Fick in Pflüger's Archiv, Bd. V, S. 301. Bonn 1871.

Das Myographion von Marey bietet für die Ausführung der Versuche sehr grosse Vortheile dar, und gerade diese machen es auch für die Versuche an den Käfermuskeln zu einem leicht zu handhabenden und kaum durch ein anderes zu ersetzenden Instrumente.

Man kommt sehr bald zu der Überzeugung, dass man diese Vortheile nicht aufgeben kann, und dass man vielmehr daran denken muss, die Schreibweise des Mareyschen Instrumentes einer genaueren Analyse zu unterwerfen, als das bisher geschehen ist. Das soll, wie gesagt, erst später geschehen.

Die Vortheile, welche das Marey'sche Instrument bietet, sind aber: Bewegung des Hebels in horizontaler Ebene um eine vertical stehende Axe, was bedingt, dass der am Myographionhebel wirkende Muskel seinen Zug in horizontaler Richtung ausüben muss. Das bringt eine leichte und einfache Befestigungsweise des Präparates auf der horizontal liegenden Korkplatte und eine vereinfachte und rasch auszuführende Präparation mit sich.

Diese Vortheile des Instrumentes kommen schon für die Versuche am Gastrocnemius des Frosches, für welche es Marey besonders berechnet hat, sehr in Betracht.

Sie sind aber von ganz besonderem Werthe für unsere Versuche an den Käfern, die sich leicht in passender Lage auf der Platte des Myographion befestigen lassen. Ein anderer, nicht zu unterschätzender Vortheil des Instrumentes ist, dass der sehr leichte, einer Geradführung entbehrende Hebel ohne viele Mühe der Schreibfläche innerhalb ziemlich weiter Grenzen unter immer sehr feinem und kaum merklich differirendem Drucke so angelegt werden kann, dass die Schreibspitze immer an der Schreibfläche gehalten wird, ohne dass sie von derselben jemals mitgeführt oder in ihren Bewegungen durch zu grosse Reibung beeinträchtigt würde. Ferner kann mit der grössten Leichtigkeit die Hebelspitze von der bewegten Schreibfläche abgehoben und gleich darauf wieder genau in der früheren Weise an die bewegte Schreibfläche angelegt werden.

Endlich kann das Marey'sche Myographion mittelst der gleich später zu erwähnenden Einrichtung leicht in linearer Richtung parallel der Axe des rotirenden Cylinders mit gleichförmiger Geschwindigkeit verschoben werden, womit die schönen und dichten Curvenreihen in verticaler, seitlicher oder schiefer dachziegelförmiger Anordnung[1] erhalten werden, wie sie aus Marey's Arbeiten bekannt sind. Einige weitere Vortheile, welche die Einrichtungen Marey's gerade für unsere Versuche mit sich bringen, werden sich aus der Mittheilung der Versuche noch ergeben.

Als Elektroden für die Reizversuche dienten biegsame Kupferdrähte, welche die Form feiner geknöpfter Sonden hatten und verplatinirt waren, sie befanden sich in dem von Marey angegebenen Elektrodenhälter am Grundbrettchen des Myographion. Die geknöpften Enden wurden auf die blossgelegten und vor Verletzung mit aller Vorsicht bewahrten Muskeln aufgesetzt.

Ein Schema für die Anordnung eines Versuches ist in Figur 6 dargestellt.

MMMM bedeutet die Grundplatte des Myographion, an welcher der mit Gewicht belastete Hebel befestigt ist. *E* bedeutet den Elektrodenträger; *K* den Käfer, der mittelst Stecknadeln fixirt und dessen Bein durch einen Faden mit dem Hebel verknüpft ist. *C* ist der rotirende Cylinder, auf welchem der Hebel schreibt.

Zu den Tetanisirungsversuchen diente das Schlitteninductorium in seiner gewöhnlichen Einrichtung, Fig. 6 *J*. Im primären Kreise, Fig. 6 *B*, befanden sich als Kette drei constante Zink-Kupfer-Elemente, von der von mir[2] beschriebenen Form.

Im secundären Kreise befand sich ein rotirender Schlüssel[3] Fig. 6 *RRRR*, welcher die Einstellung auf eine bestimmte Reizdauer gestattete, und nach diesem ein Vorreiberschlüssel nach Du Bois, Fig. 6 *S*, der die Abblendung der Inductionsschläge dauernd erlaubte, wenn ein bestimmter Versuch beendigt war.

---

[1] Imbrication verticale, laterale et oblique. Marey, Du mouvement dans les fonctions de la vie, p. 222 u. d. f. Paris 1868. — La méthode graphique, p. 518 u. d. f. Paris 1878.

[2] Untersuchungen aus dem Institute für Physiologie und Histologie in Graz, S. 295. Leipzig 1870—72. Wiedemann.

[3] A. Rollett, Sitzungsber. d. mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXXII, Abth. III, S. 358, 1875.

Das Myographion befand sich auf dem von Marey angegebenen, auf Eisenbahn laufenden Wagen (Fig. 6 *W*), und für den Fall, dass die Bewegung dieses Wagens benützt wurde, diente der rotirende Schlüssel, der von einer auf der Axe der Schreibtrommel befindlichen Stufenscheibe (Fig. 6 *P*) mittelst Schnurlaufes angetrieben wurde, auch dazu, um die einzelnen Curven in der sogenannten „imbrication laterale" anzuschreiben.

Ganz ähnlich wie der Versuch Fig. 6 waren auch die Versuche zusammengestellt, bei welchen ich die früher [1] veröffentlichten und unten [2] noch weiter zu besprechenden Zuckungscurven von Käfermuskeln erhielt, nur fällt für diesen Fall der rotirende Schlüssel weg und führen die Drähte von der secundären Spirale direct nach *S* (Fig. 6) und befindet sich für diesen Fall die Unterbrechungsstelle (*U*, Fig. 6) des primären Stromes unter einem (bei *D*, Fig. 6) an der einen Grundfläche des rotirenden Cylinders angebrachten Daumen, der einen in bekannter Weise hergestellten Contact auszuschlagen hat. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Cylinders betrug bei den Tetanusversuchen 64 Secunden, bei den Einzelzuckungen etwas über $1^1/_2$ Secunde.

In beiden Fällen wurde die Verkürzung bedeutend vergrössert angeschrieben.

Das Verhältniss der Entfernung des Angriffspunktes des Beines zur Entfernung der Hebelspitze vom Drehpunkte des Schreibhebels betrug 1 : 7·4. Dazu muss aber noch gerechnet werden, dass nicht die Muskeln selbst an dem Schreibhebel befestigt sind, sondern das Ende einer von den Muskeln bewegten Gliedmasse, die selbst wieder einen Hebel darstellt. Leider spottet der Mechanismus des Gelenkes, in welchem die Drehung des Schenkels durch die Beuger und Strecker bewirkt wird (Fig. 1, I und II) wegen der Kleinheit der Theile einer jeden messenden Analyse.

Um aber zu einer beiläufigen Vorstellung von der durch das Bein selbst bedingten Hebelübersetzung zu gelangen, habe ich die folgenden Messungen und Berechnungen vorgenommen.

Sowohl beim *Hydrophilus* als beim *Dyticus* entspricht der Bogen, welchen das untere, an die Tibia stossende Ende des Schenkels beim Übergange aus der stärksten Streck- in die stärkste Beugelage beschreibt, einem Winkel von etwas über 110°.

Ich habe nun an einer Reihe von möglichst gleich grossen Exemplaren von *Hydrophilus* einerseits und von *Dyticus* andererseits, die in Alkohol lagen, die von unten her zwischen die Fasern des Muskels hinein sich fortsetzende Strecksehne *st*, Fig. 1 *A*, durch sorgfältige Entfernung der Muskelfasern herauspräparirt. Diese verhältnissmässig steife Sehne erleidet, wenn man dann an dem Präparate den Schenkel aus der Beuge- in die Strecklage oder umgekehrt überführt, eine messbare lineare Verschiebung ihres oberen Endes, welche man mittelst eines kleinen, auf einen dünnen, kurzen Glasstreifen aufgetragenen und unter die Sehne gelegten Massstabes bestimmen kann.

Diese Verschiebung bestimmte ich nun, während ich an dem auf einer passenden Unterlage von Kork fixirten Präparate den Schenkel aus starker Beugelage $D\alpha$, Fig. 1, I, in starke Strecklage $D\beta$ oder umgekehrt führte, so dass der Bogen $\alpha\beta$, Fig. 1, I, welchen das Ende des Schenkels beschrieb, genau einem Winkel von 110° entsprach. Der Radius dieses Bogens ist die Länge des Schenkels. Macht man nun die Annahme, dass der Ansatz der Sehne des Muskels an dem Gelenkskopfe bei der Bewegung des Schenkels so verschoben wird, dass die Anfangs- und die Endlage dieses Ansatzes durch die Chorda [3] eines Bogens $\alpha'\beta'$, Fig. 1, I verbunden werden können, welche der Chorda des Bogens $\alpha\beta$ parallel liegt, dann könnte man die weitere Annahme machen, dass die Chorda, welche die verschobenen Ansatzpunkte der Muskelsehne verbindet, gleich sei der gemessenen linearen Verschiebung, welche die Sehne des Muskels erleidet, wenn

[1] Sitzungsberichte der mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. in Wien, Bd. LXXXIX, Abth. III, S. 346. 1884.

[2] Unten Abschnitt VII.

[3] Ich werde immer diese Bezeichnung gebrauchen, um die für die Darstellung lästige Concurrenz des Ausdruckes „Sehne" einmal in der Bedeutung Sehne des Kreises, dann wieder in der Bedeutung Sehne des Muskels zu vermeiden. Dagegen soll mit dem Worte Sehne immer die Muskelsehne bezeichnet werden.

man mit dem Beine den Bogen $\alpha\beta$ beschreibt. Unter diesen Annahmen liesse sich aber, wie eine einfache Überlegung ergibt, aus der Formel

$$r = \frac{Rs}{S}$$

die Länge des Hebelarmes r berechnen, an welchem der Muskel wirkt. R ist die gemessene Länge des Femur, s die gemessene lineare Verschiebung der Sehne des Muskels, S die Chorda des mit dem Schenkel als Halbmesser beschriebenen Bogens $\alpha\beta$, der einem Winkel von 110° entspricht.

Für den *Hydrophilus* fand ich R im Mittel aus 20 Messungen 14^{mm}.

Die lineare Verschiebung der Sehne des Muskels $s = 2 \cdot 2^{mm}$. Die Chorda S des Bogens $\alpha\beta$ beträgt $22 \cdot 92^{mm}$. Daraus ergibt sich, dass der Muskel an einem Hebelarme wirkt, dessen Länge $r = 1 \cdot 34^{mm}$ ist. Wenn der Schenkel aus der Beuge- in die Strecklage bei der zu Grunde gelegten Excursion von 110° übergeführt wird, betrüge aber, da die Länge der Streckmuskeln bei den betreffenden Käfern 12^{mm} gefunden wurde, die Verkürzung des Muskels $^1/_5 — ^1/_6$ seiner ursprünglichen Länge.

Für den *Dyticus* ergab sich R im Mittel zu 9^{mm}.

Die lineare Verschiebung der Sehne des Muskels $s = 1 \cdot 4^{mm}$. Die Chorda des Bogens $\alpha\beta$ beträgt $14 \cdot 74^{mm}$. Daraus ergäbe sich, dass der Muskel an einem Hebelarme wirkt, dessen Länge $r = 0 \cdot 85^{mm}$ ist. Wenn bei diesem Thiere der Übergang aus der Beuge- in die Strecklage unter einem Winkel von 110° stattfinden würde, betrüge die Verkürzung des Muskels, dessen Länge 8^{mm} gefunden wurde, wieder zwischen $^1/_5 — ^1/_6$ der ursprünglichen Länge. Das Verhältniss $r : R$ des Hebelarmes, an welchem der Muskel wirkt, zur Länge des Schenkels, wäre darnach

für *Hydrophilus* . . 1 : 10·49,
„ *Dyticus* . . . . 1 : 10·53.

Darnach würde aber die Muskelverkürzung von dem Myographionhebel in unseren Versuchen

für *Hydrophilus* . . $10 \cdot 49 \times 7 \cdot 4 = 77.626$ mal
„ *Dyticus* . . . . $10 \cdot 53 \times 7 \cdot 4 = 77.922$ mal

vergrössert angeschrieben.

Ich lege auf diese Zahlen keinen besonders grossen Werth, denn es ist leicht ersichtlich, wie sehr das Resultat beeinflusst wird, wenn man bei der Bestimmung von s nur einen sehr geringen Fehler macht. Die Annahme, dass s der Chorda des Bogens $\alpha'\beta'$ (Fig. 1, I) entspricht, trifft nicht völlig zu, da ein Theil der Sehne des Muskels bei der Drehung des Zapfens C des Gelenkskopfes auf denselben auf- und von demselben abgewickelt wird. Für die Chorda 2·2 beim *Hydrophilus* beträgt aber die Bogenlänge 2·57 und für die Chorda 1·4 beim *Dyticus* die Bogenlänge 1·63.

Darnach würde sich aber die Entfernung des Insertionspunktes der Sehne des Muskels von der Drehungsaxe noch etwas kleiner ergeben, als wir sie gefunden haben.

Die obigen Zahlen zeigen uns aber beiläufig, wie sehr die erhaltenen Curven die Muskelverkürzung vergrössern und dass die Vergrösserung wahrscheinlich für beide Käfer nicht beträchtlich abweicht. Sie müssen ferner in Anschlag gebracht werden für die Belastungen, welche wir an dem mit dem langen Hebelarme des Schenkels verknüpften Myographionhebel wirken lassen. Es ist der lange Hebelarm des Schenkels über 10mal länger, als der Hebelarm, an welchem die Muskeln wirken.

Was nun wieder die Versuche selbst anbelangt, so ist noch das Folgende zu bemerken.

Wenn man, nachdem man ein Präparat von *Dyticus* in der Fig. 2 entsprechenden und früher beschriebenen Weise hergestellt hat, in Vorversuchen, bei welchen das Bein nicht mit dem Myographionhebel verknüpft wird, auf einen der zu Tage liegenden Streckmuskeln etwa in der Gegend von A die eine Elektrode, an der hinteren Ecke des pyramidenförmigen Muskels die andere Elektrode aufsetzt, erhält man bei passend gewählter Stärke der Inductionsströme reine Streckung des Schenkels auf der Seite, wo gereizt wird. Es ist dieses

Resultat nach den vorgebrachten anatomischen Daten leicht verständlich. Die tief liegenden Beugemuskeln werden bei diesem Versuche nicht mehr von wirksamen Stromschleifen getroffen.

Durchschneidet man dann von der Bauchseite her, Fig. 4, die Beugemuskeln, so bleibt der Erfolg der Reizung derselbe, nur muss man dann das Bein vor jeder Reizung künstlich in der Beugelage zu erhalten suchen, da sonst wegen des einseitigen Zuges der nicht gelähmten Strecker von vorneherein eine bleibende Strecklage vorhanden ist.

Wie bei *Dyticus* die Beuger isolirt gereizt werden, soll später angegeben werden.

Weniger einfach verhält sich die Sache bei *Hydrophilus*. Wenn man bei Präparaten, die nach Art der Fig. 3 hergestellt wurden, die Elektroden so aufsetzt, dass eine derselben bei *D*, Fig. 3, die andere bei *N* sich befindet, so erfolgt eine energische Beugung. Man kann aber nun die eine Elektrode von *D* entlang der Linie *AD* allmälig bis an den inneren Rand der Strecker verschieben und erhält noch immer energische Beugung; in diesen Fällen werden also die Beuger gereizt, ohne dass beide Elektroden sich über denselben befinden und offenbar müssen gleichzeitig auch die Strecker gereizt, von den Beugern aber überwunden werden. Welche Einrichtung diesem Verhalten zu Grunde liegt, habe ich nicht ermitteln können. Wahrscheinlich ist der Verlauf der motorischen Nerven für die Beugemuskeln die Ursache der Erscheinung. Über diese Nerven vermochte ich aber durch anatomische Präparation nicht ins Klare zu kommen. Ich musste mich begnügen, für die isolirte Darstellung der Beugebewegungen vorerst die Strecker zu durchschneiden, was hier sehr leicht gelingt. Wenn man aber reine Streckbewegungen bei *Hydrophilus* erhalten will, muss man immer vorher die Beuger durchschneiden, was, wie schon angeführt, durch Tenotomie am inneren Ende der Coxa und zwar, wie ich jetzt hinzufüge, sowohl von der Bauchseite her, als auch von der Dorsalseite her, an Präparaten nach Art der Fig. 3 geschehen kann. Diese Operation ist aber die heikelste unter allen, und man muss dabei immer bedacht sein, nur eine der Chitinwände der Coxa und diese möglichst wenig zu verletzen. Sollen die Streckbewegungen bei *Hydrophilus* graphisch dargestellt werden, dann muss man, wie schon angegeben, die Präparate statt in der Stellung Fig. 6 in jener der Fig. 2 fixiren. Beim *Hydrophilus* werden also sowohl die Strecker, als auch die Beuger von der dorsalen Seite her an Präparaten, die nach Art der Fig. 3 hergestellt wurden, gereizt. Die analogen Präparate von *Dyticus*, Fig. 2, dienen aber auch zu allen Versuchen an diesem Thiere. Über die Reizung der Strecker bei *Dyticus* habe ich schon früher gesprochen. Die Reizung der Beuger nehme ich bei diesem Thiere von der dorsalen Seite her vor, nachdem ich die Strecker durch Durchschneiden ihres unteren Endes und Abschneiden von ihrer oberen Insertion ganz herausgeräumt habe, und zwar bei Lagerung des Präparates, wie in Fig. 3. Ich habe mich überzeugt, dass nach diesem Eingriffe die Beuger reactionsfähiger bleiben, als wenn man sie durch Ausschneiden der Coxaplatte von der ventralen Seite her blosslegt. Bei der Herstellung der Präparate und bei der Ausführung der angegebenen Operationen muss jede Verletzung derjenigen Muskeln, die nicht ausgeschaltet werden sollen, auf das sorgfältigste vermieden werden.

Häufig verliert man aber Präparate, namentlich wenn man die Versuche noch wenig geübt hat, trotz aller aufgewendeten Mühe. Verloren muss man alle Präparate geben, bei welchen während oder nach der Ausführung der Operationen freiwillige Bewegungen auftreten, das passirt aber selbst bei grosser Ubung gelegentlich immer wieder einmal.

Bei graphischen Versuchen geben sich dann Störungen sowohl während der Reizperiode, als während der Intermissionen der Reize kund.

Ich habe Versuche, bei welchen Bewegungen auch in den Pausen der Reize auftraten, welche mir aber schliesslich nur noch als Ausnahmen von der Regel vorgekommen sind, vorerst nicht weiter berücksichtiget. Dass die grösste Zahl von Versuchen ohne diese Störungen abläuft, ist das wichtigste für die von uns hier zu besprechenden Thatsachen, und die Mittheilung zahlreicher Myogramme, bei welchen die Muskeln die applicirten Reize eben so tadellos beantworteten, als sie sich während der Reizintervalle tadellos ruhig verhielten, wird als selbstredende Thatsache für die Versuche eintreten.

IV. Wiederholung lange dauernder Tetani bei Hydrophilus nnd Dyticus.

Nach einigen Vorversuchen entschied ich mich für die Anstellung oft hinter einander wiederholter Tetanusversuche.

Für solche Repetirversuche sind ja die Apparate von Marey ganz vorzüglich brauchbar.

Diese Versuche schienen mir geeignet, eine Reihe von Fragen zu lösen, deren Beantwortung für die Käfermuskeln in anderer Weise nicht leicht möglich wäre. Sie bringen insbesondere sofort mit grosser Bestimmtheit eine Entscheidung der Hauptfrage.

Es fördern nämlich Versuche über in bestimmten Intervallen wiederholten, länger andauernden Tetanus der Muskeln beider Käfer, die in Bezug auf Reiz- und Intermissionsperioden tadellos verlaufende Curven ergeben, sehr charakteristische physiologische Verschiedenheiten der Muskeln beider Thiere zu Tage.

Einen solchen Versuch bei *Hydrophilus* stellen die Curven Fig. 19 I, II, III, IV, V, VI und VII (Taf. III) dar.[1] Es sind Tetani des Schenkelbeugers von *Hydrophilus*, die unmittelbar aufeinanderfolgend bei langsamem Gange des rotirenden Cylinders von demselben Präparate angeschrieben wurden. Die Dauer der Reiz- und Intermissionsperioden ist durch bestimmte Einstellung des offenen Sectors des rotirenden Schlüssels bedingt. Die Frequenz des Hammers des Inductoriums war in den Versuchen bestimmt.[2] Sie betrug im Mittel 27 Schwingungen in der Secunde, was bei wirksamen Schliessungs- und Öffnungsschlägen einer Reizfrequenz von 54 in der Secunde entspricht. Die Curven Fig. 19 sind bei steigender Grösse der an dem Myographionhebel wirkenden Gewichte angeschrieben. Diese Gewichte sind bei I 6 Grm., bei II 8 Grm., bei III 10 Grm., bei IV 12 Grm., bei V 14 Grm., bei VI 16 Grm., bei VII 18 Grm.; bei jeder dieser Belastungen wurden drei Tetani hinter einander angeschrieben, während der das Myographion tragende Wagen Fig. 6 auf der Eisenbahn sich bewegte. Nur bei VII wurden nur zwei solcher Tetani angeschrieben. Da der ganze Umfang des rotirenden Cylinders 420 Millimeter beträgt, eine Umdrehung des Cylinders aber 64 Secunden dauert, entspricht 1^{mm} der Abscisse einer Zeit von 0·1524 Secunden. Ein Tetanus dauert im Mittel 18 Secunden, dann folgt eine Pause von 46 Secunden, dann wieder Tetanus u. s. f. Nur die erste Tetanuscurve der Gruppe I entspricht einer kürzeren Zeit und erscheint in ihrem Anfangspunkte von dem Anfangspunkte der Curve 2 derselben Gruppe weniger weit abstehend. Dies beruht darauf, dass der Schlüssel *S*, Fig. 6, aus Versehen etwas zu spät geöffnet wurde.

Zwischen den Versuchen I und II, II und III u. s. f. wurde der Myographionhebel mittelst des bekannten, am Marey'schen Myographion angebrachten Excenters von der Schreibfläche abgehoben, die Belastung gewechselt und dann der Hebel wieder angelegt. Vom Anfange bis zum Ende dieser Operationen wurde vorsichtshalber der Schlüssel *S*, Fig. 6, geschlossen. Der Schlüssel *R* und der Wagen *w* bewegten sich ebenso wie der rotirende Cylinder fort. Die Gruppen der Curven wurden dadurch erhalten, dass immer, nachdem die letzte Curve einer Gruppe angeschrieben war, der Wagen mit der Hand soweit linear verschoben wurde, dass die neue Abscisse über die letztangeschriebene Curve zu liegen kam.

Die Gruppen der Curven zeigen dieselbe lineare Verschiebung gegen einander, wie die einzelnen Curven in den Gruppen, und diese Verschiebung ist von dem Verhältnisse der Radien der Stufenscheiben am rotirenden Cylinder und am rotirenden Schlüssel abhängig. Der ganze Versuch, Fig. 19, dauerte etwas über 21 Minuten. Der Abstand der Rollen war bei allen Reizungen 60 Millimeter. Die grössten Höhen der Tetanuscurven und die Belastung sind in der Tabelle, S. 19, verzeichnet.

Ich bemerke, dass dem Versuche Fig. 19 an demselben Präparate noch zwei ganz gleiche Versuche nachfolgten und dann noch ähnliche Versuche angestellt wurden, bei welchen sich nur der Unterschied von den

---

[1] Die Figur gibt den Versuch so wieder, wie er auf dem rotirenden Cylinder angeschrieben wurde. Die Figuren 15, 16, 17, 18, von welchen ich vorläufig abzusehen ersuche, wurden der Raumersparniss wegen an solchen Stellen der Tafel aufgelegt, welche nur von geradlinig verlaufenden Abscissen der Fig. 19 beschrieben waren.

[2] Vergl. A. Rollett, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXX, Abth. III, S. 43, 1874.

zuerst erhaltenen Curven zeigte, dass die allen einzelnen Belastungen entsprechenden Tetani sich allmälig erniedrigten. Ganz nahe übereinstimmende Resultate sind aber an dem Schenkelbeuger von *Hydrophilus*, wie viele verschiedene Käfer man auch vornehmen mag, immer leicht zu erhalten.

Gruppe	Gewichte in Grm.	Zunahme der Gewichte in Grm.	Grösste Höhe der Curve im Mittel in Millim.	Abnahme der Höhe in Millim.
I	6	—	46·7	—
II	8	2	39·5	7·2
III	10	2	32·4	7·1
IV	12	2	25·6	6·8
V	14	2	19·0	6·6
VI	16	2	13·4	5·6
VII	18	2	9·6	4·8

Gehen wir nun über zu den Schenkelstreckern von *Hydrophilus*. Fig. 20 stellt einen dem Versuche Fig. 19 entsprechenden Versuch an dem Schenkelstrecker von *Hydrophilus* dar, nur sind die Tetani etwas länger dauernd (23 Secunden im Mittel) und die Pausen zwischen je 2 Tetani etwas kürzer (41 Secunden im Mittel).

Ich stelle den Versuch Fig. 20 in einer ähnlichen Tabelle dar, wie Fig. 19.

Gruppe	Gewichte in Grm.	Zunahme der Gewichte in Grm.	Grösste Höhe der Curve im Mittel in Millim.	Abnahme der Höhe in Millim.
I	2	—	34·9	—
II	4	2	18·6	16·3
III	6	2	10·3	8·3
IV	8	2	6·9	3·4
V	10	2	5·2	1·7
VI	2	—8	26·8	—21·6

Auch an dem Schenkelstrecker von *Hydrophilus* lassen sich diesem analoge Versuche jeder Zeit leicht erhalten.

An die vorerwähnten Versuche möchte ich nun noch die Versuche Fig. 21 und 22, Taf. IV anschliessen, welche wieder Beispiele von vielen gleichartigen solchen Versuchen geben.

Fig. 21 stellt im Mittel 18 Secunden währende, in Pausen von 46 Secunden bei 10 Grm. am Myographion-hebel wirkendem Gewichte und steigender Reizfrequenz verzeichnete Tetani des Schenkelbeugers von *Hydrophilus* dar.

Der Rollenabstand betrug 80^{mm}. Die Reizfrequenz wurde dadurch variirt, dass dem Halske'schen Unterbrecher des Inductorium verschiedene Einstellungen gegeben wurden. Sie betrug bei I 18, bei II 24, bei III 54, bei IV 86, bei VI 94 in der Secunde. Die Curven sind, wie ersichtlich, über derselben Abscisse, also bei arretirtem Wagen (Fig. 6 *W*) angeschrieben.

Fig. 22 stellt Tetani des Schenkelbeugers von *Hydrophilus* von derselben Dauer und in denselben Pausen bei einer Reizfrequenz von 54 in der Secunde, bei 8 Grm. am Hebel wirkendem Gewichte dar. Dabei wurden aber die Rollen in den Pausen einander genähert. Für I betrug der Rollenabstand 110^{mm}, für II 100, für III 90, für IV 80, für V 70, für VI 60, für VII 50, für VIII 40, für IX 30, für X 20, für XI 10, für XII 0^{mm}. Der letztere Versuch zeigt besonders, welche Ausdauer der *Hydrophilus*-Muskel in dem durch maximale und übermaximale Reize hervorgerufenen Tetanus besitzt, während aus allen mitgetheilten Versuchen zusammen hervorgeht, dass der *Hydrophilus*-Muskel trotz angestrengter Leistungen sich längere Zeit ganz continuirlich im Zustande hoher Leistungsfähigkeit erhält.

Die Leistungen, welche wir dem Muskel auferlegt haben, waren in Bezug auf ihre Grösse und Dauer und in Bezug auf die Dauer der Erholung, welche wir ihm zwischen den einzelnen Tetanis gewährten, ziemlich willkürlich gewählt und wären natürlich der mannigfachsten Variationen fähig. Den Versuchen Fig. 19 und 20 ist aber zu entnehmen, dass die Zeiten für die Erholung genügten, dass nach Ablauf derselben immer wieder dieselbe Leistungsfähigkeit des Muskels vorhanden war, denn die Curven, welche in den einzelnen Gruppen aufeinanderfolgen, erheben sich nahezu auf dieselbe Höhe und in den einzelnen Versuchen mit gleichbleibender Belastung ist ja die geleistete Arbeit proportional der Höhe der Curve und nimmt mit dieser proportional zu und ab.

Es ist also dem in den einzelnen Gruppen der Curven nahezu gleichen Verlaufe der Curven auch zu entnehmen, dass die Arbeitsenergie des Muskels während des Hubes der an dem ruhenden Muskel angefügten Last bis zur maximalen Höhe des Tetanus sich zeitlich in den aufeinanderfolgenden Tetani immer in nahezu derselben Weise entwickelt hat. So lange der Muskel auf derselben Höhe der Contraction dauernd verharrt, wobei er anscheinend in einem neuen Zustande statischen Gleichgewichtes sich befindet, schwankt er, nach den Vorstellungen, welche wir uns vom Tetanus machen müssen, in der That rasch zwischen Zusammenziehung und Erschlaffung, was nur mit stets erneuertem Aufwande von Energie möglich ist.

Wir sind mit den mit der Arbeitsleistung des Muskels einhergehenden stofflichen Veränderungen und den chemischen Vorgängen, welche zur Erhaltung einer bestimmten Menge von potentieller Energie im Muskel führen, noch so wenig bekannt, dass für die Erklärung der Thatsache, dass bei einem Muskel Tetani von derselben Dauer, Grösse und Form und von demselben mechanischen Effecte in kurzen Intervallen oft hinter einander wiederholt werden können, vorerst noch zwischen verschiedenen Möglichkeiten gewählt werden kann.

Das Vorhandensein dieser Thatsache bei den *Hydrophilus*-Muskeln, welches sich in den eben vorgeführten Curven ausspricht, ist aber, wie wir sehen werden, schon ein für die vergleichend-physiologische Charakteristik jener Muskeln wichtiges Merkmal.

Wenden wir uns jetzt auch noch einer genaueren Betrachtung des Verlaufes der Curven der einzelnen Tetani zu.

Gerade bei so ausdauernd und regelmässig functionirenden Muskeln, wie sie die *Hydrophilus*-Muskeln nach den mitgetheilten Versuchen sind, bietet die Frage nach der Form der einzelnen Tetanuscurve kein geringes Interesse dar.

Ich habe meine Aufmerksamkeit zunächst darauf gerichtet, ob unsere an dem *Hydrophilus*-Muskel erhaltenen Tetanuscurven etwa den Gesetzen folgen, welche Bohr[1] für den Verlauf der Tetanuscurven des unermüdeten Froschmuskels angegeben hat. Bekanntlich soll darnach die Tetanuscurve eine gleichseitige, zu den Asymptoten hingeführte Hyperbel sein; ferner sollen sich mit Contractur verlaufende Tetani aus zwei Theilen zusammensetzen, aus der geradlinig verlaufenden Contracturhöhe und einem hyperbolisch verlaufenden Antheile, welcher dem contracturfreien Tetanus analog ist. Später hat noch Buckmaster[2] eine merkwürdige Beziehung zwischen dieser Form der Tetanuscurve und dem Verlaufe von Zuckungsreihen nachzuweisen gesucht.

Bohr hat bei der Ausmessung seiner Myogramme die Tangenten der Ablenkungswinkel des Myographionhebels als Mass der Muskelverkürzung ermittelt und von der allerdings geringfügigen Deformation der Myogramme, welche durch die Schreibweise seines Hebels bedingt war, abgesehen. Wir werden im nächsten Abschnitte auf beide Momente etwas näher eingehen, sie weisen darauf hin, dass die von Bohr aufgestellten Gesetze nur einem annäherungsweisen Ausdrucke des Verlaufes des Tetanus entsprechen können.

Es soll und kann damit natürlich kein Einwand gegen die von Bohr gegebenen Ableitungen erhoben werden.

---

[1] Bohr, Archiv f. Anat. u. Physiologie. Physiolog. Abth., S. 233.
[2] Buckmaster, Archiv f. Anat. u. Physiologie. Physiolog. Abth., S. 459.

Aber abgesehen davon muss auch hervorgehoben werden, dass es immer nur für eine ganz bestimmte Zeit möglich sein wird, dass die tetanische Curve sich einer bestimmten Grenze asymptotisch annähert. Wenn einmal ein Tetanus so lange gedauert hätte, dass die den Tetanus zusammensetzenden Einzelzuckungen in Folge der Ermüdung des Muskels kleiner werden, würde die Curve gegen die Abscisse absinken müssen; Bohr hebt darum auch ausdrücklich hervor, dass sein Gesetz nur für den unermüdeten Muskel gelte.

Die Zeit, zu welcher, vom Beginne des Tetanus an gerechnet, ein solcher Wendepunkt der Curve auftritt, ist aber von sehr complicirten Bedingungen abhängig, wie aus einigen Angaben von Richet[1] und den Untersuchungen von Wedenski[2] gefolgert werden muss.

Die Curven Fig. 19, von den Schenkelbeugern des *Hydrophilus* zeigen schon einen Wendepunkt, von welchem das Ende des Tetanus ganz langsam gegen die Abscissenaxe abfällt. Etwas Ähnliches, aber weit weniger ausgeprägt, ist an den Curven Fig. 20, von den Schenkelstreckern von *Hydrophilus* zu sehen, während in den Curven Fig. 21 und 22 auch dieser geringe Abfall noch fehlt.

V. Einige Bemerkungen über die Schreibweise der Myographien, besonders des Marey'schen Myographion und die Theorie des letzteren Instrumentes.

Ich muss mir nun hier erlauben, die begonnene Darstellung meiner Untersuchungen an den Käfermuskeln etwas zu unterbrechen und einen Abschnitt einzuschalten, der die Frage behandeln soll, in welcher Weise die Tetanuscurve von dem von mir benützten Marey'schen Myographion angeschrieben wird.

Wir werden zu untersuchen haben, ob und wie wir die mit demselben erhaltenen Curven ausmessen können, um eine möglichst getreue Vorstellung jenes Vorganges im Muskel zu erhalten, welchen die Curven versinnlichen sollen.

Wir werden auch zu überlegen haben, wie sich die mit Marey's Instrument erhaltenen Curven mit den auf andere Weise erhaltenen myographischen Curven vergleichen lassen.

Ich habe schon früher einige der grossen Vortheile auseinandergesetzt, welche die Anwendung des Marey'schen Myographion für unsere Versuche an den Käfermuskeln mit sich bringt. Jetzt muss ich aber einen vergleichenden Blick auf die Schreibweise der gebräuchlichen Myographien überhaupt werfen. Für die Marey'sche Einrichtung werden sich daraus einige Momente der Beurtheilung ergeben, welche, soviel ich weiss, weder der Erfinder selbst, noch irgend jemand nach ihm besonders gewürdigt hat.

Tigerstedt[3] hat vor einiger Zeit in einer Arbeit über die Latenzdauer der Muskelzuckung ein, wie er selbst sagt, möglichst vollständiges Verzeichniss aller bis dahin veröffentlichten Myographien zu liefern gesucht.

Ich verweise auf dieses Verzeichniss, denn nach den Aufschreibungen zu urtheilen, die ich mir in ähnlicher Absicht schon durch einige Zeit gemacht habe, hat Tigerstedt den beabsichtigten Zweck völlig erreicht.

Ich verweise gleichzeitig auf die vielen kritischen Bemerkungen, welche Tigerstedt in seine Darstellung verflochten hat.

Uns soll aber hier eine Frage beschäftigen, welche Tigerstedt eingehender zu berühren keine Veranlassung fand. Ich meine die Form und den Werth der Ordinaten der myographischen Curven.

Diese Grössen sind bei den einzelnen Myographien von der Art der Führung der Schreibspitze des Hebels auf der Schreibfläche abhängig.

---

[1] Richet, Physiologie des muscles et des nerfs, p. 114. Paris 1882.

[2] Wedenski, Pflüger's Archiv, Bd. XXXVII, S. 69; ferner: Über die Beziehungen zwischen Reizung und Erregung im Tetanus (Resumé zu der in russischer Sprache erschienenen Abhandlung). St. Petersburg 1886. Ich muss sehr bedauern, dass meine Versuche an den Käfermuskeln längst abgeschlossen waren, als mir Wedenski's Arbeiten bekannt wurden, und dass ich auch bis jetzt nicht Gelegenheit hatte, die ausführliche russische Abhandlung, die mir freundlichst zugesendet wurde, mir übersetzen zu lassen.

[3] Tigerstedt, Archiv f. Anat. u. Physiologie, 1885. Physiolog. Abth., Supplementband, S. 111.

Für alle Fälle wollen wir nur Hebel voraussetzen, welche nach den Principien von Marey [1] und Fick [2] angefertigt sind, also Hebel, welche den wechselnden Zuständen des Muskels mit der bisher überhaupt erreichten Genauigkeit folgen. In eine Erörterung dieser Frage hier noch näher einzugehen, vermeide ich, da ich nichts Neues darüber zu bringen vermöchte, nur auf die von Mach [3] für einen möglichst treu zeichnenden Sphygmographenhebel theoretisch entwickelten Anforderungen will ich noch verweisen, weil vieles davon sich direct auf den Myographionhebel übertragen lässt.

Zu den Myographien, bei welchen die Schreibfläche vertical liegt und die Drehung des Hebels um eine horizontal liegende Axe stattfindet, gehören unter Anderen das Helmholtz'sche Cylindermyographion, das Fick-Helmholtz'sche Pendel- und das Du Bois'sche Federmyographion; zu den Myographien, bei welchen die Schreibfläche horizontal liegt und die Drehung des Hebels um eine vertical liegende Axe stattfindet, gehört neben anderen das Myographion von Marey.

Bei zweien von den angeführten Myographien mit vertical gehendem Hebel — bei dem Cylinder- und Federmyographion — erhält man bekanntlich Curven, in denen jeder Punkt durch zwei auf einander senkrechte gerade Linien vollkommen bestimmt ist. Die Ordinaten des rechtwinkligen Coordinatensystems, auf welches die Curve zu beziehen ist, betrachtet man als die vergrösserten Zuckungshöhen des am Myographionhebel wirkenden Muskels.

Jede solche myographische Curve stellt aber die Muskelbewegung nicht ebenmässig vergrössert, sondern von allen anderweitigen Fehlern vollkommen abgesehen, in Folge der Führung der Schreibspitze auf der Schreibfläche in etwas deformirter Weise dar.

Darauf muss ich, obwohl ich dabei zunächst nur an ganz geläufige Dinge zu erinnern haben werde, doch wegen der folgenden Darlegungen etwas näher eingehen.

Es sei in der schematischen Fig. 7 (Taf. I) FF der Durchschnitt der Schreibfläche, d. i. einer ebenen Fläche oder eines Cylindermantels. MP sei der Hebel, mit dessen Spitze auf der Fläche FF geschrieben werden soll, M sei der Drehpunkt des Hebels. Der Angriffspunkt des Muskels, der im Punkte Q befestigt ist, am Hebel sei N; dann wird, wenn der Muskel sich verkürzt, z. B. um $QN—QN'$, der Hebel mit dem Punkte N den Kreisbogen NN' beschreiben und wegen der Gleichheit und Veränderlichkeit der Entfernung $MN = MN'$ wird die Richtung des Zuges, welchen der Muskel ausübt, zugleich eine Änderung erfahren, indem die Richtung QN in die Richtung QN' übergeht.

Bei den Myographien wird nun zunächst beabsichtigt, die dem Hebel vom Muskel ertheilte Bewegung vergrössert aufzuschreiben. Damit wollen wir uns zuerst beschäftigen. Es wird sich aber dann auch fragen, wie die Muskelverkürzung als Function der Hebelbewegung dargestellt werden kann, und diese Frage werden wir an einer späteren Stelle behandeln.

Was die erstere Frage betrifft, so wollen wir annehmen, dass der Hebel zu Anfang des Versuches normal stehe auf der Fläche FF (Fig. 7).

Um bei Drehungen des Hebels die Schreibspitze an der Schreibfläche zu erhalten, muss die Hebelspitze geführt werden in der Tangente PP'' des Bogens PP', welchen der unveränderlich lang gedachte Hebel MP als Radius mit seiner Spitze beschreibt. Das ist nur möglich, wenn der Hebel sich, während er gedreht wird, auch verlängert, und zwar für jede Lage um so viel, dass seine Länge gleich wird der Sekante des Bogens, welchen der Hebel MP als Radius beschreibt. Für die Lage MP' (Fig. 7) des Hebels muss also z. B. die Hebellänge MP'' werden.

Bekanntlich wird das durch die an den Myographionhebeln angebrachten Geradführungen erreicht; am genauesten nach unserem Schema bei den Geradführungen, bei welchen wie bei dem Hebel von Helmholtz[4] die beweglich eingelenkte Schreibspitze durch ein Gewicht an der Schreibfläche gehalten wird, oder bei der

[1] L. c.
[2] L. c.
[3] Mach, Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Cl., Bd. XLVI u. XLVII.
[4] Helmholtz, Archiv f. Anat. u. Physiologie, 1852. Physiolog, Abth., S. 199.

Geradführung durch eine bügelförmige Glasfeder, deren Enden in der geraden Fortsetzung des Hebels liegen, wie sie z. B. Fick [1] angewendet hat. Ebenfalls, aber von dem Schema mehr abweichend, weil der Anfangspunkt der angeschriebenen Tangenten verschoben ist, mit Geradführungen, bei welchen die Schreibspitze durch Federdruck [2] an der Schreibfläche gehalten wird.

Hebel mit solchen Geradführungen hat man bei Cylinder-, Pendel- und Federmyographien angewendet. Die letzteren beiden setzen bekanntlich, abgesehen von den durch die beschriebene veränderliche Länge des Hebels bedingten Eigenthümlichkeiten des Myogrammes auch noch eine Deformation ganz anderer Art, die bekanntlich viel grösser ist, durch die ungleichförmige Bewegung der Schreibfläche.

Diese letztere Deformation lasse ich, da uns nur Myogramme beschäftigen sollen, welche auf gleichförmig bewegten Flächen erhalten wurden, hier ganz unberücksichtigt. Das wollte ich noch bemerken, um nun die durch die veränderliche Länge des Hebels bedingte besondere Form des Myogrammes allein weiter zu verfolgen.

Aus Fig. 7 ist leicht ersichtlich, dass der Hebel mit Geradführung nicht einfach eine im Verhältnisse $\frac{MP}{MN}$ vergrösserte Aufzeichnung der durch den Muskel hervorgebrachten Bewegung des Punktes N des Hebels anschreibt, sondern eine stärker vergrösserte Aufzeichnung ergibt, und zwar würde die Vergrösserungszahl nicht $\frac{MP}{MN}$, sondern $\frac{MP}{MN} \cdot \frac{\text{tang. } \vartheta}{\frac{\pi}{180} \cdot \vartheta}$ sein, worin der zweite Factor das Verhältniss der Tangente des Ablenkungswinkels des Hebels ϑ zum Bogen dieses Winkels bedeutet. Da nun zwar $\frac{MP}{MN}$ für alle Werthe von ϑ gleich bleibt, dagegen $\frac{\text{tang } \vartheta}{\frac{\pi}{180} \cdot \vartheta}$ in dem Intervalle von 0—90° mit zunehmendem ϑ wächst, so wächst auch die Vergrösserungszahl mit zunehmendem ϑ, es wird also die Bewegung des Punktes N des Hebels nicht ebenmässig vergrössert, sondern mit zunehmender Deformation angeschrieben.

Wollten wir nicht so wie in Fig. 7, statt des Bogens PP' die Tangente PP'' anschreiben, sondern einen Hebel von constanter Länge ohne Geradführung der Spitze benützen, so könnte mit einem solchen nur geschrieben werden, wenn wir in linearer Richtung die Mantelfläche eines Hohlcylinders von dem Krümmungsradius MP an der schreibenden Spitze vorüberführen würden, auf dieser Schreibfläche würde dann eine Curve angeschrieben, die wenn der Cylindermantel in eine ebene Fläche abgewickelt würde, auf ein rechtwinkeliges Coordinatensystem bezogen werden könnte, dessen Ordinaten gerade Linien von der Länge der über denselben Abscissenpunkten auf dem Hohlcylinder angeschriebenen Kreisbogen wären. Die so erhaltene Curve könnte aber als ein ebenmässig vergrössertes nicht deformirtes Bild der Bewegung des Punktes N des Hebels angesehen werden.

Man wird nicht gerne an die Verwirklichung einer so eingerichteten Schreibfläche denken, deren Herstellung und lineare Verschiebung gewiss auf nicht unerhebliche Schwierigkeiten stossen würde. Ich habe auch die ganze vorausgehende Betrachtung nicht einem solchen Projecte zu Liebe angestellt, und wir werden ausserdem später noch sehen, dass solche nicht deformirte Curven auch in theoretischer Beziehung uns nicht befriedigen könnten.

Der Grund, warum ich jene Betrachtungen angestellt habe, liegt vielmehr darin, dass ich jetzt an dieselben die Besprechung der Schreibweise der Marey'schen Apparate anknüpfen will. Dafür scheinen sie mir aber sehr lehrreich zu sein.

Marey [3] hat einen sehr einfachen Kunstgriff benutzt, um mit einem Hebel von constanter Länge zu schreiben.

Zuerst hat er dieselbe bei seinem für die Radialarterie bestimmten Sphygmographen [4] verwirklicht. Der Hebel desselben ist bekanntlich mit seiner Spitze aus der Drehungsebene des Hebels seitlich abgebogen.

---

[1] Pflüger's Archiv, Bd. IV, S. 303.

[2] Vergl. Du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandlungen, Bd. I, S. 271, Tigerstedt l. c. S. 132 und Andere.

[3] Marey, Journ. de la physiologie, T. III, p. 241. Paris 1860.

[4] Sphygmographe à pression élastique.

Fig. 8 *MNP* stellt das Schema eines solchen Hebels in der Aufsicht dar: *M* ist der Drehpunkt, *N* der Punkt, in welchem die Bewegung auf den Hebel übertragen wird, *P* die umgebogene Schreibspitze. Die Drehungsebene ist senkrecht auf die Ebene des Papieres gedacht und der Drehungsebene parallel wird an der Spitze des Hebels in linearer Richtung die Schreibfläche *FF* mit gleichförmiger Bewegung vorübergeführt. Die mittelst einer solchen Vorrichtung erhaltenen Curven müssen auf ein Coordinatensystem bezogen werden, dessen Abscissen gerade Linien, dessen Ordinaten aber Kreisbogen sind von einem Krümmungsradius, welcher der Hebellänge *MP* entspricht.

Der Hebel von constanter Länge, mit seitlich abgebogener Spitze, welchen Marey beim erwähnten Sphygmographen anwendete, kehrt wieder bei der viel benützten Marey'schen Registrirtrommel, bei dem Myographion von Marey und bei vielen anderen Apparaten. Es empfiehlt sich auch darum, die Schreibweise dieses Hebels etwas genauer ins Auge zu fassen.

So lange man sich einen solchen Hebel auf einem Planum schreibend vorstellt, erhält man damit Curven, welche sich sehr leicht ausmessen lassen, und welche sowohl an sich, als auch auf ein rechtwinkliges geradliniges Coordinatensystem reducirt, ein sehr ebenmässig vergrössertes Bild der Muskelbewegung darstellen. Um das zu zeigen, betrachten wir zunächst die Fig. 9; in derselben stelle *ON* ein Stück einer mit einem solchen Hebel auf bewegtem Planum angeschriebenen Curve dar. In den Punkten 0, 1, 2, 3, 4, 5 der Abscissenaxe *OX* seien die kreisbogenförmigen Ordinaten errichtet. Es sollten nun eigentlich die den einzelnen Punkten der Curve entsprechenden Kreisbogen als die den betreffenden Abscissenpunkten entsprechenden Ordinaten ermittelt werden.

Dieses Verfahren kann aber durch ein viel einfacheres ersetzt werden. Man braucht nur die von den einzelnen Punkten der Curve auf die Abscissenaxe gefällten Lothe zu messen, so, als ob man es mit geradlinigen Ordinaten zu thun hätte. Diese Lothe sind, wie aus der Figur leicht zu entnehmen ist, die den betreffenden Bögen entsprechenden Sinus und diese geben in der That das beste vergleichbare Maass für die in den aufeinanderfolgenden Zeiten vorhandenen Verkürzungsgrössen des Muskels. Um das zu zeigen, müssen wir jetzt auf die Frage eingehen, wie sich die Muskelverkürzung als Function der Hebelbewegung darstellen lässt.

An Fig. 7, an der man sich ja leicht den Hebel von constanter Länge mit seitlich abgebogener Spitze und statt der Schreibfläche *FF* eine der Drehungsebene des Hebels parallele Schreibfläche, auf welche die Bogen *PP'* aufgeschrieben werden, vorstellen kann, habe ich früher erläutert, dass der in *Q* befestigte, in *N* an dem Hebel *MP* angreifende Muskel, wenn er sich um $QN - QN' = v$ verkürzt, aus der Richtung *QN* in die Richtung *QN''* übergeht.

Bezeichnen wir *QN* mit *d*, *QN'* mit *d'*, $MN = MN'$ mit *h*, den Winkel *NMN'* mit ϑ und den Winkel *NQN'* mit α, so ist

$$SN = RN' = h \sin \vartheta$$

und

$$SQ = d - h \sin \vartheta$$

und

$$d' = \frac{SQ}{\cos \alpha} = \frac{d - h \sin \vartheta}{\cos \alpha},$$

also

$$d - d' = v = h \frac{\sin \vartheta}{\cos \alpha} - d\left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1\right).$$

Es zeigt sich nun, dass bei der gewöhnlichen Anordnung der myographischen Versuche der $\cos \alpha$ so wenig verschieden von 1 ist, dass man keinen wesentlichen Fehler begeht, wenn man die Muskelverkürzung gleich setzt

$$\bar{v} = h \sin \vartheta,$$

also gleichsetzt dem Sinus des Bogens, welchen der vom Muskel bewegte Punkt des Hebels beschreibt. Die vergrösserte Darstellung der Muskelverkürzung, und zwar die im Verhältnisse *MP*: *MN* vergrösserte Darstellung derselben wäre aber dann der Sinus des Bogens, welchen der Hebel *MP* mit seiner Spitze beschreibt.

Es wird später allgemein gezeigt werden, dass die Differenz $\bar{v}—v$, welche immer positiv ist, um so mehr zu vernachlässigen ist, je weiter Aufhänge- oder Befestigungspunkt M des Muskels vom Angriffspunkte N des Muskels am Hebel entfernt ist und um je kleinere Ausschläge des Myographionhebels es sich handelt.

Bekanntlich kann die Contraction des Muskels, die von einem Myographionhebel, an dessen Drehungsaxe das belastende Gewicht wirkt, verzeichnet wird, auch um so mehr als eine isotonische Contraction betrachtet werden, je besser die zuletzt genannten Bedingungen erfüllt sind. Die constante Spannung des Muskels entspricht, wenn man von der Änderung des Winkels, welchen die Zugrichtnng des Muskels mit dem Hebel macht, absieht, dem Producte aus dem angehängten Gewichte und dem Verhältnisse der Hebelarme, an welchen Gewicht und Muskel wirken. Ein Urtheil darüber, um welche Grössen es sich bei der Vernachlässigung der Differenz $\bar{v}—v$ in praxi handelt, kann man sich vorerst leicht bilden, wenn man die nachfolgenden mit Bezug auf Fig. 7 ausgerechneten Werthe betrachtet.

$QN = 116{\cdot}598966$						
Für die Werthe ϑ	3°	6°	9°	12°	15°	17°
$SN = RN' = \sin \vartheta.22 = \bar{v}$	1·151392	2·29966	3·44146	4.57402	5·69101	6·43214
$SN' = RN = (1—\cos \vartheta)\,22$	0·03014	0·12650	0·27082	0·48070	0·74954	0·96140
$QS = QN—SN$	115·447574	114·299306	113·157506	112·024946	110·904926	110·166820
cotang $\alpha = \frac{QS}{SN'}$	3830·376709	903·551826	417·869825	233·045146	147·963986	114·590000
$\sphericalangle \alpha$	0°0'53·849428"	0°3'50·760631"	0°8'14·890272"	0°14'45·832208"	0°23'14·504148"	0°30'
$QN'' = \frac{QN}{\cos \alpha}$	116·598966	116·598966	116·598966	116·599083	116.601298	116·603630
$N'N'' = \frac{\sin \vartheta.22}{\cos \alpha}$	1·151392	2·29966	3·44146	4·574066	5·694151	6·432400
$QN' = QN''—N'N''$ . . .	115·447574	114·299306	113·157506	112·025017	110·907144	110·171230
$QN—QN' = v$	1·151392	2·29966	3·44146	4·573949	5·691822	6·427736
(Muskelverkürzung) $\bar{v}—v$	0·0000··	0·0000··	0·0000··	0·000071	0·002218	0·004404
$(\bar{v}—v)$ 7.364	0·0000··	0·0000··	0·0000··	0·000523	0·016333	0·032431

Es ist der benützte Myographionhebel von einer Länge $l = 162^{mm}$ vorausgesetzt, an welchem der Muskel in einer Entfernung h vom Drehpunkte $= 22^{mm}$ angreift, der also eine 7·364malige Vergrösserung der Muskelverkürzung verzeichnet. Als Entfernung des Befestigungspunktes des Muskels von seinem Angriffspunkte am Hebel ist $QN = 116{\cdot}598966^{mm}$ vorausgesetzt, für welche bei einer Verkürzung des Muskels, die einem Ausschlage des Hebels von $\vartheta = 17°$ entspricht, die Veränderung der Richtung des Muskels $\alpha = 30'$ beträgt.

Wenn man also bei dem grössten Ausschlage des Hebels die Muskelverkürzung gleich dem Sinus des Ausschlagwinkels setzt, begeht man nur einen Fehler von etwas über $0{\cdot}004^{mm}$, der im Myogramm vergrössert erscheint, aber auch hier nicht viel mehr als $0{\cdot}03^{mm}$ beträgt. Bedeutend kleiner wird der Fehler schon bei Ausschlägen von 15° und 12°, bei 9°, 6° und 3° ist er völlig verschwindend.

Denkt man sich den Befestigungspunkt des Muskels nur in eine Entfernung von $61{\cdot}510746^{mm}$ vom Angriffspunkte des Muskels am Hebel, wobei die Deviation des Muskels $\alpha = 1°$ wird, wenn der Myographionhebel um 17° ausschlägt, dann berechnet sich die Differenz $\bar{v}—v = 0{\cdot}008263$ und die 7·364mal vergrösserte zu 0·060849, man würde also unter diesen ungünstigen Verhältnissen noch keinen erheblichen Fehler machen, wenn man die Muskelverkürzung gleich dem Sinus des Ablenkungswinkels des Hebels setzen würde.

In den vorausgehenden Mittheilungen ist die Begründung für den früher ausgesprochenen Satz enthalten, dass es genügt, an den mit dem Marey'schen Hebel erhaltenen Myogrammen den geraden Abstand der einzelnen Curvenpunkte von der Abscissenaxe zu messen und zugleich nachgewiesen, dass die Tangenten der Bögen, welche der vom Muskel abgelenkte Hebel beschreibt, ein relativ zu grosses und ungleichförmiges

Mass, die Länge der Bögen ein relativ zu grosses Mass der Muskelverkürzung sind, dass dagegen das gleichförmigste und passendste Mass für die Muskelverkürzung die Sinus der Bögen darstellen, welche der vom Muskel abgelenkte Hebel beschreibt.

In den mit einem Hebel von constanter Länge, aber mit senkrecht auf die Drehungsebene abgebogener Spitze erhaltenen Myogrammen erscheinen die bogenförmigen Ordinaten, welche die nicht abgebogene Hebelspitze ergeben würde, gleichsam um einen Winkel von 90° gedreht. Würden wir uns in einem solchen Myogramme die Sinus der bogenförmigen Ordinaten auf jene Punkte der Abscissenaxe zurückgeschoben denken, in welchen die entsprechenden Bogen fussen, dann würden wir damit ein möglichst undeformirtes Myogramm erhalten.

Zur Erläuterung verweise ich wieder auf Fig. 9. In derselben stellt ON die mit dem Marey'schen Hebel erhaltene Curve dar, ON' die nicht deformirte auf ein geradliniges Coordinatensystem mit den Sinus als Ordinaten zu beziehende Curve. ON weicht aber von ON' nur darin ab, dass die correspondirenden Punkte der Curve ON gegen die Punkte der Curve ON' mit zunehmender Höhe der Curve immer mehr parallel der Abscissenaxe in der Richtung nach rechts verschoben erscheinen.

Thatsächlich grössere Abstände der Curvenpunkte von der Abscissenaxe erhält man aber in denselben Zeiten, wenn man sich in den Fusspunkten der Bogen die Tangenten derselben errichtet denkt; dann resultirt die Curve ON''. Und zwischen ON' und ON'' würde die Curve liegen, welche man erhalten würde, wenn man sich die Bogen in gerade Linien ausgestreckt als Ordinaten vorstellen würde.

Man sieht, dass alle diese Curven, so lange es sich nur um sehr geringe Hebelausschläge handelt, nicht wesentlich von einander abweichen; anders ist es bei grösseren Ausschlägen. Ich glaube nun den Sinn der Marey'schen Myogramme genügend erläutert und gezeigt zu haben, wie dieselben leicht auf ein geradliniges rechtwinkliges Coordinatensystem zurückgeführt werden können.

Es erübrigt aber noch anzugeben, wie für die einzelnen Curvenpunkte, als deren Ordinaten y die geraden Abstände derselben von der Abscissenaxe in gewöhnlicher Weise gemessen werden, die richtige Zeit auf der Abscissenaxe bestimmt wird. Zu dem Ende wird vom 0Punkte (Fig. 9) aus in derselben Weise wie die y auch

$$x^1 = 0\,I,\ 0\,II,\ 0\,III,\ 0\,IV,\ 0\,V\ .\ .\ .$$

gemessen, die richtigen Zeiten

$$x = 01,\ 02,\ 03,\ 04,\ 05\ .\ .\ .$$

ergeben sich dann aus

$$x^1 - l(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \vartheta}) = x,$$

worin l die Länge des Hebels, die bekannt sein muss, sin ϑ den Sinus des Ablenkungswinkels des Hebels, bezogen auf den Radius 1 bedeutet, der aus dem gemessenen y nach $\frac{y}{l} = \sin \vartheta$ berechnet wird.

So lange wir uns also mittelst des Hebels von Marey Curven auf ein Planum geschrieben denken, wie das z. B. bei dem Sphygmographen von Marey wirklich geschieht, und wie wir es bei unseren bisherigen Betrachtungen auch für das Myographion vorausgesetzt haben, ist die Ausmessung der Curven und die Zurückführung derselben auf ein geradliniges rechtwinkliges Coordinatensystem mit nicht erheblich grösseren Fehlern behaftet, als sie die Ausmessung auch der besten, direct auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem zu beziehenden Curvenschriften mit sich bringt.

Vor eine Reihe von neuen Fragen werden wir aber geführt, wenn mit einem solchen Hebel auf der Mantelfläche eines rotirenden Cylinders geschrieben wird, wie es Marey bei seinem Myographion und bei zahlreichen anderen graphischen Apparaten gethan hat und wie es auch zu anderen als physiologischen Zwecken geschieht.

Hier wird es sich darum handeln, welcher Natur die Raumcurve ist, die der Hebel über der Mantelfläche des ruhenden Cylinders offenbar anschreibt und welche als Ordinate der mit so eingerichteten Apparaten erhaltenen Curven zu betrachten ist. Nur wenn man sich denken könnte, dass diese Raumcurve von dem Cylindermantel in eine Ebene abgewickelt, einen Kreisbogen darstellt, wären auch auf so gewonnene Myo-

gramme unsere früheren Betrachtungen anwendbar. Marey macht für seine Myogramme ohne weiteren Beweis die Annahme, dass die Ordinaten derselben Kreisbogen sind und darauf beruht seine empirische Zurückführung der Curven auf ein rechtwinkliges Coordinatensystem, die er als „correction de l'arc de cercle dans les traces“ beschreibt.[1] Beiläufig gesagt, die einzige flüchtige Betrachtung, welche er der Schreibweise seines Hebels widmet.

Wir werden dieselbe, die sich, wie gesagt, nicht auf Myogramme bezieht, die auf einer ebenen Schreibfläche, sondern auf solche, die an einem rotirenden Cylinder angeschrieben wurden, des Zusammenhanges mit unseren früheren Betrachtungen wegen, gleich hier besprechen und erst darauf in die Untersuchung des Einflusses einer cylindrisch gekrümmten Schreibfläche eingehen. Das empirische Verfahren Marey's ist aus der Fig. 10, welche ich reproducire, leicht ersichtlich. Sie stellt eine „correction de l'arc de cercle dans le graphique d'une secousse musculaire“ dar. Marey errichtet im o-Punkte eine gerade senkrechte Linie oy auf der Abscissenaxe ox, ferner legt er durch diesen Punkt einen Kreis oy', dessen Centrum in der verlängerten Abscissenaxe liegt und dessen Halbmesser gleich ist der Länge des Hebels, mit dem geschrieben wurde. Dann zieht er durch die senkrechte Gerade, die Kreislinie und die Curve eine Reihe von zur Abscissenaxe parallelen Linien a, a' a'' etc. und schiebt auf denselben die Schnittpunkte mit der Curve so weit nach links zurück, als dem auf derselben Parallellinie gemessenen Abstande von senkrechten Geraden und Kreislinien entspricht. Die so gefundenen Punkte geben die corrigirte Curve um so genauer, je mehr parallele Linien gezogen wurden. Von der neuen Curve sagt Marey: „on obtiendra une courbe nouvelle, qui représentra fidelement les mouvements musculaires“.

Es ist leicht ersichtlich, dass die Abstände der Parallellinien Marey's von der Abscissenaxe den Sinus der Kreisbögen entsprechen, welche der Hebel anschreibt. Fällt man von den Schnittpunkten der corrigirten Curve mit den Parallellinien senkrechte Linien auf die Abscissenaxe, so erhält man die auf die richtige Zeit zurückgeschobenen Sinus. Das constructive Correctionsverfahren von Marey beruht also unter der Voraussetzung, dass die Ordinaten Kreisbogen sind, auf ganz richtigen Principien, kann aber bei der Ausmessung der Curven ganz erspart und durch das oben angeführte genauere rechnende Verfahren ersetzt werden.

Ausserdem ist der Ausspruch von Marey über seine neue Curve nur richtig, wenn, wie wir gezeigt haben, die Muskelverkürzung gleich dem Sinus des Ausschlagswinkels des Hebels gesetzt werden kann.

Marey schreibt mit dem Hebel seines Myographion über der Oberfläche eines rotirenden Cylinders (vergl. Fig. 6), an welchen er den Hebel in der Richtung der Tangente oder einer Sehne des kreisförmigen Querschnittes des Cylinders senkrecht auf die Axe des letzteren anlegt.

Wir müssen jetzt auch diesen, wie schon gesagt, viel schwierigeren Fall untersuchen. Wäre der von Marey benützte Hebel völlig steif, dann könnte damit niemals eine Curve über einen Cylinder angeschrieben werden, denn in diesem Falle würde die abgebogene Spitze des Hebels, wenn man sich dieselbe bei einer Orientirung des Hebels senkrecht auf die Axe des Cylinders an den letzteren angelegt denkt, bei dem geringsten Ausschlage nach der einen oder der anderen Seite die Oberfläche des Cylinders verlassen müssen. Der Hebel von Marey stellt aber eine dünne federnde, aus Rohr geschnittene Lamelle dar, und diesem Umstande allein ist es zu danken, dass mit demselben Curven an einer Cylinderoberfläche nach Art der Curven von Marey angeschrieben werden können.

Nachdem ich mich von den grossen Vortheilen, welche die Bewegung des Myographionhebels in einer horizontalen Ebene gewährt und die ich schon früher hervorgehoben habe, überzeugt hatte, liess ich es anfänglich nicht an Versuchen fehlen, die darauf gerichtet waren, den Hebel von Marey durch einen horizontal sich bewegenden steifen Hebel zu ersetzen, dessen Bewegungen in einer durch die Axe des Cylinders gelegten Ebene erfolgen sollten. Natürlich musste ein solcher Hebel dann mit Geradführung eingerichtet werden und damit mussten auch alle Vortheile aufgegeben werden, welche, wie wir gesehen haben, ein Hebel von constanter

[1] Marey, Du mouvement dans les fonctions de la vie, p. 329. Paris 1868 — und La méthode graphique, p. 501. Paris 1878.

Länge mit seitlich abgebogener Spitze gewährt, so lange man sich denselben auf einer ebenen Fläche schreibend vorstellt. Allein ich fand die mancherlei Schwierigkeiten, welche federnde Geradführungen, und an solche konnte dabei zunächst nur gedacht werden,[1] schon bei vertical sich drehendem Hebel mit sich bringen, für den horizontal gehenden Hebel noch beträchtlich gesteigert. Die Spitze eines solchen Hebels unter passendem Drucke genau in der durch die Cylinderaxe gelegten Ebene anzulegen, so dass sie bei den Drehungen des Cylinders nicht mitgenommen wird, ist immer nur schwer auszuführen, und die schwierige Orientirung des Hebels kostet viele Zeit und ist, wenn einmal wirklich gut gelungen, äusserst leicht wieder gestört. Jedesfalls ist das Arbeiten mit dem Hebel von Marey dagegen ungemein leicht, die Versuche gelingen damit ohne Mühe völlig sicher und jeder, der die Schwierigkeiten des ersteren Verfahrens nur selber durchgemacht hat, wird gerne zu der Einrichtung Marey's zurückkehren und einsehen, dass die reiche Ausstattung der Publicationen Marey's mit vielen, oft in grosser Anzahl repetirten Myogrammen vorzugsweise in der ungemein leichten Handhabung seines schmiegsamen Hebels wurzelt.

Ich stellte mir darum die Frage, ob man nicht auch die Schreibweise des elastischen Hebels mit aus der Drehungsebene abgebogener Spitze für den Fall, als die Oberfläche eines rotirenden Cylinders als Schreibfläche benützt wird, einer genaueren Analyse unterwerfen kann, die uns über die Natur der auf diese Weise erhaltenen Myogramme besser zu orientiren vermöchte.

In Bezug darauf sei nun vorerst das Folgende bemerkt. Es ist, während man den Hebel des Marey'schen Myographion[2] so an die Oberfläche des Cylinders anlegt, dass gute, den Originalcurven von Marey entsprechende Curven gewonnen werden, leicht, sich davon zu überzeugen, dass die Hebelspitze bei der Ablenkung des Hebels eine auf drei auf einander senkrechte Coordinatenaxen zu beziehende Bewegung ausführt. Eine dieser Axen liegt vertical, die beiden anderen liegen in einer horizontalen Ebene, die eine in der Richtung der Axe des rotirenden Cylinders, die andere senkrecht auf die Cylinderaxe. Wir wollen die mit der Richtung des Hebels in der Ruhelage zusammenfallende Coordinatenaxe die ξ, die senkrecht daraufstehende in die Richtung der Cylinderaxe fallende die η, die verticale Axe die ζ Axe nennen, Fig. 6, 0ξ, 0η, 0ζ, wobei der Nullpunkt des Coordinatensystemes in dem Drehungspunkte des Hebels liege, von welchem wir annehmen, dass er auch der fixe Punkt für die Abweichung des elastischen Hebels aus seiner Drehungsebene ist, dann können wir am einfachsten so verfahren, dass wir den aus seiner Ruhelage abgelenkten Hebel als eine begrenzte Gerade annehmen und deren Projectionen auf die drei Coordinatenaxen bestimmen, was leicht geschehen kann. Das Verfahren war Folgendes: Ich ermittelte möglichst genau die Länge des Myographionhebels l, wenn derselbe in der Ruhelage, d. i. mit seiner Richtung senkrecht auf die Axe des Cylinders an den letzteren angelegt war, einmal durch einen angelegten passenden Massstab, zweitens dadurch, dass ich genau in der Höhe, in welcher der Hebel den Cylinder berührte, statt des Cylinders eine horizontale ebene Fläche anbrachte, auf diese wurde ein Stück berussten Glanzpapiers gelegt und nun auf diesem durch Drehung des Hebels mit der Spitze des letzteren ein Kreisbogen angezeichnet. Für diesen Kreisbogen wurde dann Radius und Mittelpunkt bestimmt. Endlich dadurch, dass der Hebel in der Ruhelage auf dem Cylinder mittelst eines Fernrohres gegen eine Scala anvisirt wurde, in gleich zu beschreibender Weise.

Für die Länge des Hebels ergab sich so $l = 162^{mm}$, auf welche derselbe eben von vorneherein[3] einzustellen versucht wurde.

Um nun dem Hebel in einer Reihe von aufeinanderfolgenden Versuchen immer genau bestimmte Ablenkungen ertheilen zu können, brachte ich auf der Platte des Myographion dicht unter dem Hebel einen in

---

[1] Nachdem diese Arbeit bereits lange abgeschlossen und auch grösstentheils niedergeschrieben war, ist mir eine Anordnung eingefallen, bei welcher ein horizontal gespannter Muskel auf einen vertical gehenden, mit Helmholtz'scher Geradführung versehenen Hebel wirken würde. Ich habe aber diese Anordnung bisher nur an einem Modelle geprüft, vielleicht werde ich sie später ausführen lassen.

[2] Die von mir benützten Apparate sind alle Originale von Breguet, welche schon im Jahre 1873 für das physiologische Institut der Grazer Universität geliefert worden sind.

[3] Siehe das Frühere.

Grade getheilten Kreisbogen *G*, Fig. 6 an, dessen Mittelpunkt mit dem Drehungspunkte des Hebels zusammenfiel. Zum Behufe der genauen Einstellung des Hebels war der Faden, an welchem sonst der Muskel wirkte, an einer neben dem Myographion stehenden Schlittenvorrichtung befestigt, die mittelst einer Mikrometerschraube bewegt werden konnte.

Der Hebel konnte damit von Grad zu Grad abgelenkt werden. Ich stellte denselben damit auf fünf verschiedene Ablenkungen ein, nämlich auf 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, die letztere Excursion liegt schon nahe derjenigen, bei welcher die Hebelspitze die Oberfläche des Cylinders verlässt. Zwischen 0—25° fallen also die vom Hebel überhaupt angeschriebenen Ausschläge.

Bei jeder dieser Lagen wurde nun der Stand der Hebelspitze mittelst eines in einer Entfernung von 5 Metern in der Richtung der Cylinderaxe und in der Höhe der Drehungsebene des Hebels aufgestellten Fernrohres auf einer einmal vertical (*N*, Fig. 6), dann aber horizontal (*N'*, Fig. 6) dicht hinter dem Cylinder aufgestellten Theilung abgelesen. Diess führte zur Bestimmung von ξ und ζ.

Zur Bestimmung von η diente der schreibende Hebel selbst dadurch, dass für jede Lage des Hebels der Cylinder in Rotation versetzt wurde, wobei der Hebel der Abscisse parallele Linien anschreibt, deren Abstand gemessen wurde.

Ich erhielt auf diese Weise für ξ, η und ζ die nachfolgenden Werthe:

Versuch I.

	ξ	η	ζ
1	161·3	14	0·2
2	159·5	28	0·7
3	156·4	42	1·7
4	151·9	56	3·5
5	145·9	70	6·5

Versuch II.

1	161·3	14	0·2
2	159·8	28	0·7
3	156·8	42	1·7
4	152·2	56	3·5
5	145·9	70	6·5

setzt man nun

$$l^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2$$

und bestimmt daraus l und vergleicht den gefundenen Werth von l mit 162, so erhält man:

	ξ^2	η^2	ζ^2	$l^2 = \xi^2+\eta^2+\zeta^2$	l	$\Delta l = l - 162$
Versuch I.						
1	26017·69	196	0·04	26213·73	161·91	—0·09
2	25536·04	784	0·49	26320·53	162·24	+0·24
3	24586·24	1764	2·89	26353·13	162·33	+0·33
4	23164·84	3136	12·25	26313·09	162·21	+0·21
5	21286·81	4900	42·25	26229·06	161·95	—0·05
Versuch II.						
1	26017·69	196	0·04	26213·73	161·91	—0·09
2	25440·25	784	0·49	26224·74	161·94	—0·06
3	24460·96	1764	2·89	26227·85	161·95	—0·05
4	23073·61	3136	12·25	26221·86	161·94	—0·06
5	21286·81	4900	42·25	26229·06	161·95	—0·05

Am genauesten sind in diesen Versuchen die η bestimmt, da sie ja durch eine Art von Theilverfahren auf dem berussten Cylinder selbst ermittelt wurden und oft und oft wiederholte Einstellungen den in der Tabelle verzeichneten gleichen Abstand der Theilstriche als den richtigen ergaben. Die Werthe von ξ und ζ in den beiden Versuchen sind die Mittelwerthe von je 10 Ablesungen. Es ist zu bemerken, dass der Hebel des Myographion, so lange die Spitze desselben nicht unterstützt ist, durch seine eigene Schwere etwas herabgebogen ist; wenn er an den Cylinder angelegt wurde, suchte ich ihm eine genau horizontale Lage zu geben; das war bei Versuch II noch genauer der Fall als bei Versuch I, bei welchem der Hebel etwas stärker an die Schreibfläche angelegt war. Auch hier war die Abweichung von der horizontalen Lage kaum merklich, es erschienen aber die vom Hebel in die Russschichte eingeschriebenen Linien stärker ausgeprägt. Es war das der hauptsächlichste Unterschied von Versuch I und Versuch II. Wurde der Hebel stärker an den Cylinder angelegt als in Versuch I, oder weniger stark als in Versuch II, so war es schon merklich, dass die elastische Lamelle des Hebels im ersteren Falle etwas nach aufwärts, im letzteren Falle etwas nach abwärts gebogen erschien.

Aus den beiden Versuchen ergibt sich, dass die Veränderung der Länge des Hebels für eine Excursion desselben in dem Intervalle $0—25°$ eine ganz unbeträchtliche ist. Theoretisch sind aber folgende Fälle möglich. 1. Der Hebel ist so stark angelegt, dass er in der Ruhelage nach oben ausgebogen erscheint, dann wird er sich beim Herabgleiten seiner Spitze über den Cylindermantel gerade strecken und etwas verlängern. 2. Der Hebel ist nur wenig in der Ruhelage nach oben ausgebogen, dann wird er sich beim Ausschlagen anfangs etwas verlängern, dann aber wieder etwas verkürzen. 3. Der Hebel liegt in der Ruhelage wirklich vollkommen horizontal, dann wird er sich beim Ausschlagen immer mehr verkürzen.

Wichtig ist aber, dass die Versuche ergeben, dass man innerhalb gewisser Grenzen findet, dass die Abweichung der Hebelspitze aus der horizontalen Drehungsebene eine solche ist, dass sich die Länge des Hebels dabei nur in einer zu vernachlässigenden Weise verändert.

Wenn wir uns nun, nachdem wir das vorausgeschickt haben, fragen, welchem Gesetze die Curve folgt, die ein also beschaffener Hebel über der Mantelfläche des ruhenden Cylinders anschreibt, so stossen wir zunächst auf ein rein geometrisches Problem.

Mein sehr verehrter College Prof. Dr. Victor v. Dantscher hat sich mit grosser Freundlichkeit die Mühe genommen, die Natur der abgewickelten Raumcurve zu untersuchen, welche der Hebel von Marey über der Mantelfläche eines Cylinders anschreibt und hat mir zugleich die für die Theorie aller Myographien wichtige Bemerkung gerechtfertigt, dass die Muskelverkürzung mit hinreichender Genauigkeit ausgedrückt werden kann durch den Sinus des Bogens, welchen der vom Muskel bewegte Punkt des Hebels beschreibt. Ich kann nichts Besseres thun, als im Nachfolgenden unter I und II die Entwicklungen mit v. Dantschers eigenen Worten zu bringen.

I.

In der Fig. 11 bedeutet MNQ ein bei N rechtwinkeliges Dreieck, N' einen Punkt im Innern von MNQ, der auf dem Kreise aus dem Mittelpunkte M mit dem Halbmesser MN liegt.

Zur Abkürzung werden die Bezeichnungen eingeführt:

$$MN = MN' = h\,,\ NQ = d\,,\ N'Q = d'\,,\ \sphericalangle NMN' = \vartheta\,,\ d—d' = v.$$

Die Grösse v soll als Function von h, d und ϑ dargestellt werden.

Sind R und S die Normalprojectionen des Punktes N' auf die Geraden MN und NQ, so ist:

$$N'S = RN = h(1—\cos\vartheta)\,,\quad SQ = NQ—NS = NQ—RN' = d—h\sin\vartheta, \tag{1}$$

somit aus dem bei S rechtwinkeligen Dreiecke $N'SQ$

$$d' = \sqrt{d^2—2hd\sin\vartheta+2h^2(1—\cos\vartheta)}, \tag{2}$$

wobei der Quadratwurzel ihr positiver Werth beizulegen ist, da es sich hier nur um absolute Masse handelt.

Damit ist die Darstellung gewonnen:

$$v = d - \sqrt{d^2 - 2hd\sin\vartheta + 2h^2(1-\cos\vartheta)}, \qquad 3)$$

Setzt man darin:

$$\sqrt{d^2 - 2hd\sin\vartheta + 2h^2(1-\cos\vartheta)} = d\left[1 - 2\frac{h}{d}\sin\vartheta + 2\frac{h^2}{d^2}(1-\cos\vartheta)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= d - h\sin\vartheta + \frac{h^2}{d}(1-\cos\vartheta) + \ldots, \qquad 4)$$

wobei bemerkt sein mag, dass diese Entwicklung convergirt, solange $|2hd\sin\vartheta - 2h^2(1-\cos\vartheta)| < d^2$ ist, so ergibt sich für v eine Darstellung von der Form

$$v = h\sin\vartheta - \frac{h^2}{d}(1-\cos\vartheta) + \ldots \qquad 5)$$

Nunmehr ist wesentlich zu bemerken, dass für die hier beabsichtigten Anwendungen schon das Glied $h\sin\vartheta$, welches mit $\bar{v}$ bezeichnet wird, die Grösse v mit hinreichender Genauigkeit darstellt.

Dies zu begründen diene das Folgende:

In dem vorhin angedeuteten Bereiche für ϑ, dessen genaue Bestimmung für das Weitere nicht erforderlich ist, findet für die Differenz $\bar{v} - v$ eine Entwicklung nach ganzen positiven Potenzen von ϑ statt, von der Form:

$$\bar{v} - v = \frac{h^2}{8d}\vartheta^4 + \ldots, \qquad 6)$$

welche bereits erkennen lässt, dass für hinreichend kleine Werthe von ϑ $\bar{v}$ grösser ist als v, die Differenz $\bar{v} - v$ mit positivem ϑ zugleich wächst und abnimmt, und durch Verkleinerung von ϑ beliebig klein gemacht werden kann.

Betrachtet man den aus 3. sich ergebenden Ausdruck

$$\bar{v} - v = (d - h\sin\vartheta)\left\{\sqrt{1 + \left(\frac{h(1-\cos\vartheta)}{d - h\sin\vartheta}\right)^2} - 1\right\}, \qquad 7)$$

wobei die Wurzel wie in 3) positiv zu nehmen ist, so ersieht man sofort, dass für $d > h$ durchweg $\bar{v} > v$ ist.

Ob aber die Differenz $\bar{v} - v$ für alle in Betracht kommenden Werthe von ϑ mit ϑ zugleich zunimmt oder nicht, ist aus 7) nicht unmittelbar zu erkennen, weil mit wachsendem ϑ im Intervalle $0 < \vartheta < \frac{\pi}{2}$ der erste Factor der rechten Seite kleiner, der zweite dagegen grösser wird.

Um dies zu entscheiden bilde man die Ableitungen

$$\frac{d\bar{v}}{d\vartheta} = h\cos\vartheta \qquad \frac{dv}{d\vartheta} = \frac{h(d\cos\vartheta - h\sin\vartheta)}{\sqrt{d^2 - 2hd\sin\vartheta + 2h^2(1-\cos\vartheta)}}. \qquad 8)$$

Im Intervalle $0 < \vartheta < \operatorname{arctg}\frac{d}{h}$, wobei $\operatorname{arctg}\frac{d}{h}$ im Intervalle 0 bis $\frac{\pi}{2}$ liegt, sind beide Ableitungen positiv; zu ihrer Vergleichung können daher in demselben Sinne der Ungleichheit auch die Quadrate benützt werden, und lässt sich nun in der That zeigen, dass in dem eben angegebenen Intervalle für ϑ

$$(h\cos\vartheta)^2 - \frac{h^2(d\cos\vartheta - h\sin\vartheta)^2}{d^2 - 2hd\sin\vartheta + 2h^2(1-\cos\vartheta)} > 0 \qquad 9)$$

ist. Da der Nenner $d^2 - 2hd\sin\vartheta + 2h^2(1-\cos\vartheta)$ für alle reellen Werthe von ϑ von Null verschieden ist, so ist 9) nach Weglassung des Factors h^3 gleichbedeutend mit:

$$2d\sin\vartheta\cos\vartheta(1-\cos\vartheta) - h(\sin^2\vartheta - 2\cos^2\vartheta + 2\cos^3\vartheta) > 0. \qquad 10)$$

Setzt man darin $\text{tg}\,\frac{\vartheta}{2} = t$, wobei also t im betrachteten Intervalle von ϑ positiv ist, so ist

$$\cos\vartheta = \frac{1-t^2}{1+t^2} \qquad \sin\vartheta = \frac{2t}{1+t^2} \tag{11}$$

und ergibt sich aus 10)

$$\frac{4t^3}{(1+t^2)^3}\left[ht^3-2dt^2-3ht+2d\right] > 0 \tag{12}$$

Bezeichnet man $\frac{d}{h}$ mit λ, so ist jetzt die Frage, ob für das in Rede stehende Intervall von ϑ die Ungleichung 9) erfüllt ist, darauf zurückgeführt, ob für das entsprechende Intervall von t, die ganze Function

$$f(t) = t^3-2\lambda t-3t+2\lambda > 0 \tag{13}$$

ist. Für $\vartheta = 0$ ist auch $t = 0$, für $\vartheta = \text{arctg}\,\lambda$ hat man zur Bestimmung des entsprechenden Werthes von t die Gleichung

$$\text{tg}\,\vartheta = \lambda = \frac{2t}{1-t^2}$$

oder

$$g(t) = \lambda t^2+2t-\lambda = 0. \tag{14}$$

Hieraus folgt:

$$t' = \frac{-1+\sqrt{1+\lambda^2}}{\lambda} \qquad t'' = \frac{-1-\sqrt{1+\lambda^2}}{\lambda}.$$

Gibt man also der $\sqrt{1+\lambda^2}$ ihren positiven Werth, so ist

$$0 < t < t'$$

das gesuchte Intervall für t.

Nun ist aber:

$$g(0) < 0 \qquad g(t') = 0,$$

also

$$g(t) < 0 \quad \text{für} \quad 0 < t < t'. \tag{15}$$

Bemerkt man jetzt, dass

$$f(t) = t^3-2g(t)+t$$

ist, so erkennt man sofort, dass wegen 15)

$$f(t) > 0 \quad \text{ist für} \quad 0 < t < t'.$$

Damit ist nun auch gezeigt, dass im Intervalle $0 < \vartheta < \text{arctg}\,\frac{d}{h}$

$$\frac{d(\bar{v}-v)}{d\vartheta} > 0$$

ist, oder dass die Differenz $\bar{v}-v$ zugleich mit ϑ zu- und abnimmt, also auch, dass in einem Intervalle

$$0 \leqq \vartheta \leqq \vartheta_0 < \text{arctg}\,\frac{d}{h}$$

der grösste Werth der Differenz $\bar{v}-v$ dem Endwerthe ϑ_0 von ϑ entspricht.

Für die Zahlenwerthe

$$h = 22 \qquad d = 116{\cdot}598966 \qquad \vartheta_0 = 17^\circ$$

zeigt die Rechnung, dass $\bar{v}-v < 0{\cdot}005$ ist; nach dem Vorausgehenden weiss man daher, dass im ganzen Intervalle $0 \leqq \vartheta \leqq 17^\circ$ die Grösse v durch $\bar{v}$ so genau dargestellt wird, dass der Fehler nicht $0{\cdot}005$ erreicht.

Es sei endlich noch darauf aufmerksam gemacht, dass die Differenz $\bar{v}-v$, wenn nur d allein sich ändert, mit wachsendem d abnimmt und umgekehrt, denn es ist, da $\bar{v}$ von d unabhängig ist, aus 3)

$$\frac{\partial}{\partial d}(\bar{v}-v) = -\frac{\partial v}{\partial d} = -1+\frac{d-h\sin\vartheta}{\sqrt{d^2-2hd\sin\vartheta+2h^2(1-\cos\vartheta)}} < 0.$$

II.

Es sei MP eine starre Punktverbindung vom Abstande l, M fest, P an die Oberfläche eines geraden Kreiscylinders gebunden, der so gestellt ist, dass in den Berührungsebenen von M an den Cylinder die Lagen von P in die Normalprojectionen O, O' von M auf die Berührungskanten fallen.

Der Ort des Punktes P soll auf eine Ebene abgewickelt dargestellt werden.

Hiezu wird ein rechtwinkliges Coordinatensystem ξ, η, ζ, wie folgt, angeordnet.

Die durch M auf die Axe des Cylinders senkrecht gelegte Ebene schneidet denselben in einem Kreise K, dessen Mittelpunkt und Halbmesser mit C und r bezeichnet werden. Die Berührungspunkte der von M an K gehenden Tangenten sind die Punkte O, O'.

Einer derselben, etwa O, wird als Anfangspunkt des Coordinatensystems, OC als die positive Richtung der ζ-Axe, OM als die positive Richtung der ξ-Axe gewählt; dann fällt die η-Axe mit der Kante des Cylinders durch O zusammen, ihre positive Richtung wird beliebig festgelegt.

In der beigegebenen Fig. 12 sind P', P'', P''' die Normalprojectionen des Punktes P in einer seiner Lagen auf die Coordinatenebenen $\eta\zeta$, $\zeta\xi$, $\xi\eta$; Q', Q'', Q''' die Normalprojectionen von P auf die Axen ξ, η, ζ.

Der Ort von P ist nun bestimmt durch die beiden Gleichungen

$$\xi^2+\zeta^2-2r\zeta = 0 \qquad 1)$$

$$\xi^2+\eta^2+\zeta^2-2l\xi = 0. \qquad 2)$$

Durch Subtraction ergibt sich hieraus die Gleichung

$$\eta^2 = 2(l\xi-r\zeta), \qquad 3)$$

die etwa mit 1) zusammen ebenfalls den gesuchten Ort darstellt.

Bezeichnet man den Kreisbogen OP'' (von der positiven Seite der $\zeta\xi$-Ebene aus gesehen im Drehungssinne $\circlearrowright$ beschrieben gedacht), gemessen durch seinen Radius r, mit φ, so ist

$$Q'''P'' = \xi = r\sin\varphi \qquad OQ''' = \zeta = r(1-\cos\varphi). \qquad 4)$$

Führt man diese Ausdrücke in 3) ein, so ergibt sich

$$\eta^2 = 2r(l\sin\varphi+r\cos\varphi-r), \qquad 5)$$

durch 4) und 5) sind somit ξ, η, ζ als Functionen von einer Veränderlichen φ dargestellt.

Wickelt man jetzt die Cylinderfläche auf die Ebene $\xi\eta$ ab, bezieht die abgewickelte Curve, die der Punkt P auf dem Cylinder beschreibt, auf das Coordinatensystem $\xi\eta$ und bezeichnet die Coordinaten des Punktes P nach der Abwicklung mit x und y, so ist:

$$x = OP'' = r\varphi \qquad y = P''P = \eta. \qquad 6)$$

Setzt man also in 5) $\varphi = \frac{x}{r}$, $\eta = y$, so ergibt sich als Gleichung der gesuchten Curve:

$$y^2 = 2r\left(l\sin\frac{x}{r}+r\cos\frac{x}{r}-r\right). \qquad 7)$$

Sie ist demnach eine transcendente Curve, welche symmetrisch zur x-Axe liegt, und besteht aus den im Abstande $2r\pi$ aufeinanderfolgenden Wiederholungen eines Ovals $\mathfrak{C}$, welches durch 7) dargestellt wird, wenn x auf das Intervall $0 \leqq x \leqq 2r\,\mathrm{arctg}\,\frac{l}{r}$ beschränkt ist.

Das Maximum von y^2 und damit auch des absoluten Betrages von y, der durch $|y|$ bezeichnet wird, fällt in den Punkt

$$x = a = r \operatorname{arctg} \frac{l}{r} = OH < r\frac{\pi}{2} \qquad 8)$$

$$y = b = \left|\sqrt{2r\left(\left|\sqrt{r^2+l^2}\right| - r\right)}\right| = HC < l. \qquad 9)$$

Schreibt man die Gleichung 7) in der Form

$$y^2+2r^2 = 2r\sqrt{r^2+l^2}\left[\frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}}\sin\frac{x}{r} + \frac{r}{\sqrt{r^2+l^2}}\cos\frac{x}{r}\right],$$

wobei $\sqrt{r^2+l^2}$ positiv zu nehmen ist, und bemerkt, dass

$$\frac{r}{\sqrt{r^2+l^2}} = \cos\frac{a}{r} \qquad \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}} = \sin\frac{a}{r} \qquad 10)$$

ist, so ergibt sich:

$$y^2+2r^2 = 2r\sqrt{r^2+l^2}\cos\frac{a-x}{r}, \qquad 11)$$

woraus man ersieht, dass das Oval $\mathfrak{C}$ auch gegen eine im Punkte $x = a$ auf die x-Axe Senkrechte symmetrisch ist.

Es hat ferner keine Schwierigkeit, zu zeigen, dass die Tangente an $\mathfrak{C}$ im Intervalle $0 \leqq x \leqq a$, sich beständig in demselben Sinne drehend, von der senkrechten in die horizontale Lage übergeht.

Dies möge hinreichen, um eine Vorstellung vom Verlaufe dieses Ovals zu geben, welches für das Auge grosse Ähnlichkeit mit einer Ellipse bietet, deren Mittelpunkt in H und deren Halbaxen die Längen a und b haben und in die Richtungen der Axen x und y fallen.

Schlägt man aus dem Punkte M $(OM = l)$ den Kreis $\mathfrak{K}$ vom Radius l, so liegt das Oval $\mathfrak{C}$, wie aus 7) entnommen werden kann, ganz innerhalb des Kreises $\mathfrak{K}$, ausgenommen den Punkt O, wo sich die beiden Curven berühren.

Um diesen letzteren Umstand, der für den hier verfolgten Zweck von besonderer Bedeutung ist, zu beleuchten, betrachte man die Entwicklung von y^2 in der Umgebung der Stelle $x = 0$, nämlich:

$$y^2 = 2lx - x^2 - \frac{rl}{3}\left(\frac{x}{r}\right)^3 + \frac{r^2}{12}\left(\frac{x}{r}\right)^4 + \frac{rl}{60}\left(\frac{x}{r}\right)^5 - \cdots \qquad 12)$$

und bemerke, dass

$$\bar{y}^2 = 2lx - x^2 \qquad 13)$$

die Gleichung des Kreises $\mathfrak{K}$ ist.

Aus 12) und 13) erhält man für y und $\bar{y}$ selbst die Entwicklungen

$$y = \sqrt{2l}\,x^{\frac{1}{2}}\left\{1 - \frac{1}{4l}x - \frac{1}{4}\left(\frac{1}{3r^2} + \frac{1}{8l^2}\right)x^2 - \frac{1}{128l^3}x^3 \cdots\right\} \qquad 14)$$

$$\bar{y} = \sqrt{2l}\,x^{\frac{1}{2}}\left\{1 - \frac{1}{4l}x - \frac{1}{32l^2}x^2 - \frac{1}{128l^3}x^3 \cdots\right\}, \qquad 15)$$

aus welchen hervorgeht, dass $\mathfrak{K}$ der Krümmungskreis von $\mathfrak{C}$ im Punkte O ist, in welchem die beiden Curven einen sechspunktigen Contact eingehen. Siehe Fig. 13.

Nunmehr wird angenommen, dass der Drehungspunkt M und die Spitze P des Schreibhebels am Marey'schen Myographen eine starre Punktverbindung vom Abstande l darbieten und dass der Schreibcylinder (vom Radius r) so orientirt sei, wie es in der Fig. 12 vorausgesetzt ist. Alsdann beschreibt die Spitze des in der Ruhelage MO befindlichen Schreibhebels auf dem rotirenden Cylinder bei einer ganzen Umdrehung den Kreis K, der nach der Abwicklung der Cylinderfläche in die xy $(\xi\eta)$ Ebene ein Stück der x-Axe von der Länge $2r\pi$ darstellt.

Bewegt sich der Hebel aus der Ruhelage MO heraus, so geschieht diess um eine feste Axe $\mu\mu'$, parallel zur Axe ζ; seine Spitze bleibt dabei fortwährend auf der Cylinderfläche.

Der Winkel, den die Ebene μMP des aus seiner Ruhelage herausgebrachten Schreibhebels mit der Ebene μMO, oder der Coordinatenebene $\zeta\xi$ bildet, soll der Ausschlag ϑ des Schreibhebels genannt werden, von der Seite der positiven Halbaxe ζ aus gesehen wieder im bekannten positiven Drehungssinne $\circlearrowright$ gezählt.

Zur Vereinfachung der Darstellung wird in dem zunächst Folgenden der einem Punkte A der Cylinderfläche (nach der Abwicklung) in der xy-Ebene zwischen den Geraden $x=0$ und $x=2r\pi$ entsprechende Punkt mit $\mathfrak{A}$ bezeichnet.

Ist nun P ein Punkt der Cylinderfläche, den die bewegte Schreibspitze passirt hat, P'' die Normalprojection desselben auf die Ebene $\zeta\xi$, D derjenige Punkt der rotirenden Cylinderfläche, welcher mit O zusammenfiel, als die Schreibspitze sich in P befand, also zugleich auch derjenige Punkt der Cylinderfläche, den die Schreibspitze einnimmt, wenn bei ruhendem Cylinder der Hebel aus der Stellung MP in die Ruhelage gebracht wird, so sollen aus der Ordinate $P''P=\mathfrak{P}''\mathfrak{P}=y$ dieses Punktes die folgenden zwei Grössen ermittelt werden:

(I.) Die Strecke $\mathfrak{D}\mathfrak{P}''=$ arc OP'', oder mit andern Worten, die zu einer gegebenen Ordinate y (natürlich im Intervalle $0\leqq y\leqq b$) eines Punktes P der Curve $\mathfrak{C}$ zugehörige Abscisse x im Intervalle $0\leqq x\leqq a$. Dabei tritt jetzt $\mathfrak{D}$ an die Stelle des Anfangspunktes O in der Fig. 13 und ist die Beschränkung von x auf das Intervall o bis a dadurch gerechtfertigt, dass beim wirklichen Gebrauch des Apparates der Schreibhebel niemals soweit aus seiner Ruhelage heraustritt, dass der Punkt P'' ausserhalb des Bogens OH fällt.

(II.) Der Ausschlag ϑ des Schreibhebels in der Position MP.

Für die unter (I.) gesuchte Grösse x hat man aus 11) sofort:

$$x=a-r\text{ arc cos }\frac{y^2+2r^2}{2r\sqrt{r^2+l^2}}; \qquad 16)$$

wobei der arc cos im Intervalle 0 bis $\frac{\pi}{2}$ zu nehmen ist.

Zur Bestimmung von ϑ ergibt sich aus dem bei P''' rechtwinkligen Dreiecke $MP'''P$, Fig. 12, $MP'''=\sqrt{l^2-\zeta^2}$, also ist aus dem bei Q' rechtwinkligen Dreiecke $MQ'P'''$

$$\cos\vartheta=\frac{l-\xi}{\sqrt{l^2-\zeta^2}} \qquad \sin\vartheta=\frac{\eta}{\sqrt{l^2-\zeta^2}} \qquad \operatorname{tg}\vartheta=\frac{\eta}{l-\xi}. \qquad 17)$$

Hat man aus 16) x berechnet, so erhält man die dem gegebenen $y=\eta$ entsprechenden Werthe von ξ und ζ durch die Formeln:

$$\xi=r\sin\frac{x}{r} \qquad \zeta=r\left(1-\cos\frac{x}{r}\right)=2r\sin^2\frac{x}{2r}, \qquad 18)$$

die sich aus den beiden Gleichungen 4) und der ersten Gleichung 6) ergeben, und kann damit am bequemsten durch die letzte der Gleichungen 17) ϑ berechnen.

Übrigens können die Grössen ξ und ζ vermittelst der Gleichungen 1) und 2) auch unmittelbar durch η ausgedrückt werden.

Beispiel:

für $r=66\cdot845076$ $l=162$ $y=48$

ergibt sich:

$$a=78\cdot840749 \qquad \frac{a}{r}=\text{arc }67^\circ\ 34'\ 40\cdot03''$$

$$\frac{x}{r}=\text{arc }\ 6^\circ\ 14'\ 52\cdot96''$$

$$x=\ 7\cdot289385 \qquad \xi=7\cdot274940 \qquad \vartheta=17^\circ\ 14'\ 7\cdot22''.$$

Indessen wäre, wenn es sich um eine rasche und oftmalige Auswerthung der Grössen x und ϑ aus gegebenem y handelt, das soeben angegebene strenge Verfahren praktisch noch viel zu umständlich und zeitraubend.

Es soll daher jetzt noch untersucht werden, welche Fehler man begeht, oder in welchen Fehlergrenzen man sich bewegt, wenn man an Stelle der Grössen x und ϑ die Grössen $\bar{x}$ und $\bar{\vartheta}$ benützt, welche sogleich definirt werden sollen.

Aus dem gegebenen Punkte $\mathfrak{P}$ schlage man mit dem Radius l den Kreis und bezeichne mit $\mathfrak{M}$ denjenigen seiner beiden Schnittpunkte mit der x-Axe, welcher auf $\mathfrak{P}''$ im Sinne der positiven x-Axe folgt.

Der Kreis $\bar{\mathfrak{K}}$ aus dem Mittelpunkte $\mathfrak{M}$ durch den Punkt $\mathfrak{P}$ schneidet dann die x-Axe in zwei Punkten, von welchen derjenige, der mit $\mathfrak{M}$ zu verschiedenen Seiten von $\mathfrak{P}''$ liegt, mit $\bar{\mathfrak{D}}$ bezeichnet wird. Siehe Fig. 14.

Alsdann wird bezeichnet:

$$<\mathfrak{P}''\mathfrak{M}\mathfrak{P} = \bar{\vartheta} \qquad \bar{\mathfrak{D}}\mathfrak{P}'' = \bar{x}. \tag{19}$$

Macht man, wie bereits früher erwähnt wurde, den Punkt $\mathfrak{D}$ der x-Axe zum Anfangspunkte des Coordinatensystems, so geht die durch die Gleichung 11) dann definirte Curve $\mathfrak{C}$ durch den Punkt $\mathfrak{P}$ und ist $\mathfrak{D}\mathfrak{P}''<a$, wenn die gegebene Ordinate y des Punktes $\mathfrak{P}$ kleiner als b ist.

Zur Bestimmung von $\bar{x}$ und $\bar{\vartheta}$ durch y dienen nun die Formeln:

$$\bar{x} = l - \sqrt{l^2 - y^2} \tag{20}$$

$$\cos\bar{\vartheta} = \frac{\sqrt{l^2-y^2}}{l} \qquad \sin\bar{\vartheta} = \frac{y}{l} \qquad \operatorname{tg}\bar{\vartheta} = \frac{y}{\sqrt{l^2-y^2}}$$

worin die $\sqrt{l^2-y^2}$ positiv zu nehmen ist.

Um zunächst x und $\bar{x}$ zu vergleichen, hat man aus 16)

$$\frac{dx}{dy} = \frac{y}{\sqrt{r^2+l^2}} \quad \frac{1}{\sqrt{1-\frac{(y^2+2r^2)^2}{4r^2(r^2+l^2)}}} = \frac{2ry}{\sqrt{4r^2l^2-4r^2y^2-y^4}}, \tag{22}$$

und aus 20)

$$\frac{d\bar{x}}{dy} = \frac{y}{\sqrt{l^2-y^2}} = \frac{2ry}{\sqrt{4r^2l^2-4r^2y^2}}. \tag{23}$$

Also ist:

$$\frac{d(x-\bar{x})}{dy} > 0, \qquad \text{wenn} \quad y>0 \quad \text{ist.} \tag{24}$$

Die Differenz $x-\bar{x}$ nimmt daher mit y zugleich zu und ab; für $y=0$ ist $x=0$ und $\bar{x}=0$, folglich ist für alle in Betracht kommenden Werthe von y $\quad x-\bar{x}>0$.

Zur Vergleichung von ϑ und $\bar{\vartheta}$ betrachte man die Ausdrücke

$$\sin\vartheta = \frac{\eta}{\sqrt{l^2-\zeta^2}} \qquad \sin\bar{\vartheta} = \frac{\eta}{l} \tag{25}$$

um sofort zu ersehen, dass $\sin\vartheta > \sin\bar{\vartheta}$ ist. Die Winkel ϑ und $\bar{\vartheta}$ liegen beide im Intervalle 0 bis 90°, folglich ist auch $\quad \vartheta-\bar{\vartheta}>0$.

Es ist aber weiter noch zu zeigen, dass auch die Differenz $\vartheta-\bar{\vartheta}$ zugleich mit $\eta=y$ zu- und abnimmt.

Aus 1) und 3) erhält man nämlich, um ζ als Function von η darzustellen, die Gleichung

$$4(r^2+l^2)\zeta^2 - 4r(2l^2-\eta^2)\zeta + \eta^4 = 0. \tag{26}$$

Hieraus folgt:

$$\zeta = \frac{1}{2(r^2+l^2)}\{r(2l^2-\eta^2) - l\sqrt{4r^2l^2-4r^2\eta^2-\eta^4}\}, \tag{27}$$

wobei die Quadratwurzel positiv zu nehmen ist, da für $\eta=0$ auch $\zeta=0$ werden soll.

Also ist:

$$\frac{d\zeta}{d\eta} = \frac{\eta}{r^2+l^2}\left\{-r + \frac{l(2r^2+\eta^2)}{\sqrt{4r^2l^2-4r^2\eta^2-\eta^4}}\right\} \qquad 28)$$

und somit auch für positive η $\quad \frac{d\zeta}{d\eta} > 0.$

ζ nimmt also mit η zugleich zu; man kann daher wegen 25) behaupten, dass ϑ, $\bar{\vartheta}$ und die Differenz $\sin\vartheta - \sin\bar{\vartheta} = \eta\left(\frac{1}{\sqrt{l^2-\zeta^2}} - \frac{1}{l}\right)$ zugleich mit η zu- und abnehmen.

Damit ist aber auch gezeigt, dass die Differenz $\vartheta - \bar{\vartheta}$ selbst zugleich mit η zu- und abnimmt, denn es ist ja

$$\sin\frac{\vartheta-\bar{\vartheta}}{2} = \frac{\sin\vartheta - \sin\bar{\vartheta}}{2\cos\frac{\vartheta+\bar{\vartheta}}{2}}.$$

Wenn somit für einen Werth y_0 im Intervalle 0 bis b die entsprechenden Differenzen $x_0-\bar{x}_0$ und $\vartheta_0-\bar{\vartheta}_0$ die nach der Natur einer Untersuchung zulässigen Fehlergrenzen nicht überschreiten, so gilt dies umsomehr für die Differenzen $x-\bar{x}$ und $\vartheta-\bar{\vartheta}$, welche zu Werthen von y gehören, die kleiner sind als y_0.

Für das früher angeführte Beispiel ergibt die Rechnung:

$$\bar{x} = 7\cdot274437 \qquad \bar{\vartheta} = 17^\circ 14' 7\cdot03'',$$

also

$$x-\bar{x} = 0\cdot014948$$
$$\vartheta-\bar{\vartheta} = 0\cdot19''$$

Man kann daher behaupten: Im Intervalle

$$0 \leqq y \leqq 48$$

oder

$$0 \leqq \vartheta \leqq 17^\circ$$

ist sicher

$$x-\bar{x} < 0\cdot015$$
$$\vartheta-\bar{\vartheta} < 0\cdot2''.$$

Aus diesen Ableitungen geht hervor, dass wir einen zu vernachlässigenden Fehler begehen, wenn wir in dem Intervall von 0—17° für den Werth von ϑ die krummlinigen Ordinaten, welche der Myographionhebel über dem ruhenden Cylinder anschreibt, als Kreisbogen von einem Krümmungsradius, der gleich ist der Hebellänge, ansehen.

Ich habe aber zur Prüfung des Verfahrens auch noch einen rein empirischen Weg eingeschlagen.

Der Myographionhebel werde in horizontaler Lage genau senkrecht auf die Cylinderaxe orientirt, dann schreibe man zunächst, indem man den Cylinder eine Umdrehung machen lässt, eine Abscisse an. Ist das geschehen, dann werde der Cylinder arretirt und nun mittelst der früher beschriebenen Vorrichtung auf dem ruhenden Cylinder mit von 0—25° abgelenktem Hebel eine Ordinate angeschrieben; man erhält dann Curven, wie sie in Taf. III, Fig. 15 (6 ℭ), in Fig. 16 (11 ℭ), in Fig. 17 (1 ℭ), in Fig. 18 (1—10 ℭ), mit ihrem oberen Ende rechts stehend, enthalten sind. Werden die also gewonnenen Curven auf dem vom Cylinder abgenommenen Papiere fixirt und schlägt man dann von einem Punkte auf der Abscissenaxe, der 162^{mm} von dem Durchschnittspunkte der Curve mit der Abscissenaxe entfernt ist, mit dem Radius 162^{mm} einen Kreis, so erhält man einen Kreisbogen, welcher eine lange Strecke mit der auf dem Cylinder angeschriebenen Curve zusammenfällt, dann aber so von der Curve divergirt, dass die letztere innerhalb des Kreises verläuft; siehe Fig. 15 (6 ℜ), Fig. 16 (11 ℜ), Fig. 17 (1 ℜ), Fig. 18 (1—10 ℜ), die oben links auslaufende Curve.

Um nun, worauf es uns am meisten ankommt, die Grenze zu ermitteln, bis zu welcher die vom Cylinder abgewickelte Curve und der Kreis als zusammenfallend angenommen werden können, bediente ich mich einer gebrochenen Darstellung der Curve auf dem Cylinder.

Der letztere Vorgang wurde hauptsächlich darum gewählt, weil durch das rein empirisch constructive Verfahren, welches zur Bestimmung jener Grenze führen sollte, dieselbe immer nur mit einer nicht besonders sicheren Annäherung gefunden werden kann. Durch die gebrochene Darstellung der fraglichen Curve auf dem Cylinder entstanden die Figuren 15, 16, 17, 18, welchen ich noch eine grosse Zahl von Varianten an die Seite stellen könnte. Bei Fig. 15 wurde zuerst die 0° entsprechende Abscisse angeschrieben, dann der Cylinder arretirt und hierauf auf dem ruhenden Cylinder durch Ablenken des Hebels mittelst der früher beschriebenen Vorrichtung der Hebel von 0° bis 5° Ausschlag geführt; auf diese Weise wurde das zwischen der 0° entsprechenden Abscisse und der 5° entsprechenden, zur Abscisse parallelen Linie liegende Stück der Curve $\mathfrak{C}$ erhalten; in der neuen Lage schrieb dann der Hebel auf dem wieder rotirenden Cylinder die dem Ausschlage von 5° entsprechende, zur Abscissenaxe parallele Linie an; hatte der Cylinder eine Umdrehung und etwas darüber gemacht, dann wurde er wieder arretirt und nun auf dem ruhenden Cylinder der Hebel von 5° Ablenkung zu 10° Ablenkung übergeführt, man erhält dann das zwischen 5° und 10° liegende Stück einer Curve $\mathfrak{C}$; in derselben Weise wurde dann weiter verfahren, indem der Hebel von 10° bis zu 15°, von 15° bis zu 20°, von 20° bis zu 25° abgelenkt wurde. Nachdem das der letzteren Ablenkung entsprechende Curvenstück $\mathfrak{C}$ angeschrieben war, wurde wieder nach einer Umdrehung des Cylinders und etwas darüber der Hebel von 25° Ausschlag auf dem ruhenden Cylinder auf 0° Ausschlag zurückgeführt, auf diese Weise erhielt man dann die Curve 6 $\mathfrak{C}$.

Ich glaube nach den vorausgehenden Angaben mich auf die Art und Weise, wie die Figuren 16, 17, 18 gewonnen wurden, nicht auch des näheren einlassen zu müssen. In allen diesen Figuren ist, ausgenommen zwischen den Curven 8$\mathfrak{C}$, und 9$\mathfrak{C}$ und 9$\mathfrak{C}$ und 10$\mathfrak{C}$ in Fig. 18, anstatt von 5 zu 5° mit der Ablenkung des Hebels von 2°30′ zu 2°30′ gestiegen. In Fig. 16, die wie Fig. 15 erhalten ist, wurde zum Unterschiede von dieser Figur nur allein die 0° entsprechende Abscisse durch eine volle Umdrehung des Cylinders angeschrieben, von den zwischen den Curvenstücken liegenden, parallel zur Abscissenaxe verlaufenden Linien aber nur ein Stück, indem der Cylinder nach kurzem Laufe wieder arretirt wurde.

In Fig. 17 wurde zuerst die Curve $\mathfrak{C}$ ganz und dann, indem der Hebel von 25° bis 0° successive zurückgeführt wurde, die Curve $\mathfrak{C}$ gebrochen angeschrieben, zwischen je zwei Curvenstücken sind aber die Parallellinien wieder ganz ausgeschrieben. In Fig. 18 ist das gleiche Verfahren benützt, wie in Fig. 16, insoferne nur Stücke der Parallellinien angeschrieben sind, welche die entsprechenden Curvenstücke zwischen sich abgrenzen. Es ist aber jede Ordinate vollgezeichnet, und zwar in der Weise, dass zuerst 1$\mathfrak{C}$ über der Abscisse angeschrieben wurde, dann wurde der Hebel auf 1$\mathfrak{C}$ zurückgeführt, bis zur Ablenkung von 2°30′, durch Bewegung des Cylinders das Stück der Parallellinie zwischen 1$\mathfrak{C}$ und 2$\mathfrak{C}$ angeschrieben, dann der Hebel auf dem ruhenden Cylinder zuerst wieder nach 0° zurückgeführt und darauf von 0° auf 25° geführt; auf diese Weise wurde 2$\mathfrak{C}$ angeschrieben und so fortfahrend erhält man 3$\mathfrak{C}$, 4$\mathfrak{C}$ u. s. w.

Alle diese so erhaltenen Curvenschriften benützt man nun, um sie nach dem früher angegebenen Verfahren mit dem Kreise von 162^{mm} Radius zu vergleichen, dessen Mittelpunkt natürlich für alle Curven und Curvenstücke auf der Abscissenaxe liegen muss. In Fig. 15, 16, 17, 18 bedeuten $\mathfrak{K}$ die den einzelnen Curven entsprechenden so erhaltenen Kreisbogen.

Aus einer grossen Anzahl solcher Versuche lässt sich aber ersehen, dass für Ausschläge des Hebels bis zu 15—17°, die vom Hebel auf dem Cylinder angeschriebene Curve $\mathfrak{C}$, wenn man sich dieselbe von dem Cylinder auf eine Ebene abgewickelt denkt, mit dem Kreise $\mathfrak{K}$ zusammenfällt, welchen der Hebel als Radius auf einem Planum anschreibt, für Ausschläge über 17° wird die Abweichung der Curve $\mathfrak{C}$ vom Kreise $\mathfrak{K}$ mit zunehmender Excursion des Hebels immer merklicher und ist dann nicht mehr zu vernachlässigen.

Der Verlauf der Curve $\mathfrak{C}$ und ihre Abweichung vom Kreise kann in der angegebenen Weise empirisch bestimmt werden. Und es ist auch leicht ersichtlich, dass man damit auch ein Mittel gefunden hätte, um

myographische Curven, welche Hebelausschlägen von über 17° entsprechen, empirisch zu corrigiren. Man müsste von jenem Punkte der verlängerten Abscissenaxe, welcher 162^{mm} von dem zu dem betreffenden Curvenpunkte gehörigen Punkte der Abscissenaxe entfernt liegt, eine gerade Linie zu dem betreffenden Curvenpunkte ziehen und darüber hinaus verlängern. Der Punkt, in welchem die Verlängerung dieser Linie von dem durch denselben Abscissenpunkt gehenden Kreis geschnitten würde, wäre der Punkt der corrigirten Curve.

Denkt man sich eine solche Correction ausgeführt, dann sieht man, dass der corrigirte Curventheil sich etwas über die wirklich erhaltene Curve erhebt.

Einiges Zutrauen würde das hier kurz angeführte Correctionsverfahren nur verdienen, wenn man sich die empirische Ordinate $\mathfrak{E}$ in ein Lineal aus Glas oder Metall einschneiden liesse, dessen eine Seite von dieser Curve gebildet wird, während zwei andere Seiten desselben geradlinig verlaufen und unter einem rechten Winkel zusammenstossen. Mittelst eines solchen Lineales müssten die Ordinaten der myographischen Curve errichtet und dann die Correction in der früher erwähnten Weise ausgeführt werden.

Am besten wird es aber sein, wenn man dieses Verfahren dadurch ganz erspart, dass man für myographische Curven, welche genau ausgemessen werden sollen, nur solche Hebelausschläge benützt, welche nicht über 17° hinausgehen.

Es muss noch besonders bemerkt werden, dass sich unsere Auseinandersetzungen auf einen Hebel von bestimmter Länge beziehen und dass andere Längen des Myographionhebels auch andere Abweichungen der Curven vom Kreise ergeben würden, die ebenso untersucht werden müssten, wie wir das hier gethan haben. Es ist auch leicht ersichtlich, dass Hebel von geringerer Länge viel ungünstigere Resultate ergeben würden und dass es sich empfiehlt, mit langen Hebeln zu arbeiten. Dass man aber hier über eine gewisse Grenze nicht hinausgehen kann, hat schon Marey[1] begründet, und zwar bei Gelegenheit der Mittheilung seines Correctionsverfahrens der kreisbogenförmigen Ordinaten.

Als Consequenzen unserer vorausgehenden Betrachtungen ergeben sich aber noch einige kleine Verbesserungen des Myographion von Marey, welche ich ausführen liess. Erstens die schon früher erwähnte Kreistheilung *G*, Fig. 6, unter dem Myographionhebel. Zweitens aber eine Zerlegung der Grundplatte des Myographion in zwei Theile. Ich liess dieselben mittelst Schlittenführung ineinanderfügen; der eine Theil ist bestimmt zur Anbringung der festen Lager für die Drehungsaxe des Hebels und zur Befestigung des Röllchens, über welches der Faden vom Hebel zur Wageschale läuft. Dieses Röllchen ist in einem Schlitze, der parallel der Richtung des Hebels in der Ruhelage läuft, so verschiebbar, dass der Faden um die Axe geschlungen, oder aber in sehr geringer Entfernung von dem Drehungspunkte des Hebels an dem letzteren befestigt werden kann, wodurch es gelingt, dem Hebel verschiedene Grade von Empfindlichkeit zu ertheilen, wie es die im einzelnen Falle gegebenen Versuche verlangen. Dieser den Hebel und das Röllchen tragende Theil der Platte des Myographion ist in der schematischen Fig. 6 unschraffirt. Über demselben und durch Schlittenführung in demselben beweglich, und zwar mittelst der senkrecht auf die Ruhelage des Hebels stehenden Mikrometerschraube *T*, Fig. 6, ist der zweite, die Korkplatte tragende Theil der Platte des Myographion angebracht, auf welchem das Präparat befestigt wird.

Der Sinn dieser Einrichtung ist leicht verständlich. Sie dient dazu, dass jede myographische Curve von der Ruhelage des Hebels aus an den Cylinder angeschrieben wird. Unter Ruhelage verstehe ich dabei die Lage des Hebels genau senkrecht auf die Axe des Cylinders, in welcher der Hebel auf der Kreistheilung die Ablenkung 0 angeben muss. Für diese Ruhelage des Hebels muss die Aufstellung aller Apparate ursprünglich mit der grössten Sorgfalt vorgenommen werden.

Das erfordert einige Zeit und Mühe. Erreicht ist dieses Ziel, wenn der Hebel in der Ruhelage auf dem berussten Cylinder eine Abscissenaxe anschreibt, über welcher, wenn der Hebel bei ruhendem Cylinder nach beiden Seiten von der Ruhelage um gleich viel Grade abgelenkt wird, genau gleich lange entgegengesetzt gerichtete Ordinaten angeschrieben werden, welche von dem mit der Hebellänge als Halbmesser durch den

[1] Marey, Du mouvement etc., p. 329.

Schnittpunkt von Ordinaten und Abscissenaxe von einem Punkte der Abscissenaxe des abgewickelten Papieres geschlagenen Kreise zu beiden Seiten der Abscissenaxe in derselben Entfernung von der letzteren genau denselben Abstand ergeben.

Nur wenn diese Forderung erfüllt ist, gelten unsere früheren Angaben über das Verhalten der empirischen Ordinaten zu dem Kreise, und nur dann lassen sich die einzelnen Myogramme z. B. die bei verschiedener Belastung desselben Muskels erhaltenen mit einander vergleichen. In dem angeführten Beispiele muss jedesmal, sobald das Gewicht, welches am Muskel wirkt, geändert wird, der Hebel durch Verschieben des befestigten Präparates mittelst der Mikrometerschraube *T* auf den Nullpunkt der Kreistheilung zurückgeführt werden und so bei allen Versuchen, die mit anderen genau verglichen werden sollen.

Wäre dagegen diese Forderung nicht genau erfüllt, dann würden sich empirische Ordinate und Kreis nicht in ihrem Durchschnittspunkte mit der Abscissenaxe berühren, sondern es würde die empirische Ordinate die Kreislinie durchschneiden und in diesem Falle würde die Abweichung der empirischen Ordinate von der Kreislinie ganz anderer Natur sein, sie könnte grösser oder kleiner oder auch mit entgegengesetzten Vorzeichen versehen auftreten, kurz nicht mehr nach den oben entwickelten Grundsätzen beurtheilt werden.

Nach allem, was wir nun über die Schreibweise des Hebels des Marey'schen Myographion über einem rotirenden Cylinder vorgebracht haben, wird sich aber leicht ermessen lassen, dass die genauere Untersuchung dieser Schreibweise sich der Mühe lohnte.

Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Ordinaten der erhaltenen Myogramme bis zu Ausschlägen des Hebels, die nicht über 17° hinausgehen, als Kreisbogen von einem Radius, der der Länge des Myographionhebels entspricht, angesehen werden können.

Die Zulässigkeit dieser Annahme setzt uns aber in die Lage, auch für die Ausmessung der auf dem rotirenden Cylinder erhaltenen Myogramme das auf S. 26 [218] beschriebene Verfahren in Anwendung zu bringen. Und damit glaube ich die Verwendung der Marey'schen Einrichtung zu den hier mitgetheilten Versuchen völlig gerechtfertigt zu haben. Andererseits glaube ich aber auch einer sicheren kritischen Beurtheilung der vielen Myogramme, welche in Marey's und anderer, namentlich französischer Forscher Arbeiten vorliegen, eine bessere Grundlage verschafft zu haben.

Man konnte doch offenbar vergleichenden Betrachtungen, die an denselben angestellt wurden und Schlüssen, die aus denselben gezogen wurden, kein allzugrosses Vertrauen entgegenbringen, so lange die Schreibweise des eigenthümlichen Hebels des so einfach construirten Apparates von Marey nicht genauer untersucht war. Nach den Erfahrungen, die wir gemacht, glaube ich, dass man auch auf Grund streng theoretischer Erwägungen das Problem, welches in Marey's Myographion gelöst vorliegt, nicht einfacher hätte lösen können, als das Marey durch seine glücklichen experimentellen Griffe gethan hat.

VI. Fortsetzung der Versuche über lange dauernden Tetanus bei Hydrophilus und Dyticus.

Zur Beurtheilung des Verlaufes der einzelnen Tetani, welche durch die Curven der Fig. 19, 20, 21 und 22 dargestellt sind, theile ich die Resultate der Ausmessung jener Curven in den nachfolgenden Tabellen mit. Die Ausmessung wurde nach den im vorausgehenden Abschnitte mitgetheilten Grundsätzen vorgenommen. Für Fig. 19 und 20 bezieht sich die Messung auf die zweite Curve einer jeden der aufeinanderfolgenden Gruppen, für Fig. 21 und 22 ist die Messung sämmtlicher Curven verzeichnet. x' bedeutet die gemessenen, von 10 zu 10 Millim. vom Anfangspunkte auf der Abscissenaxe liegenden Abstände, in welchen für alle Curven die Ordinaten y gemessen wurden. Beide Werthe wurden mittelst eines in 0·1 Millim. getheilten gläsernen Maassstabes von Zeiss unter der Loupe bestimmt. x bedeuten die Abstände vom Anfangspunkte, auf welche man sich die entsprechenden y bezogen denken muss, also die wahre, für den entsprechenden Curvenpunkt giltige Zeit. Diese Werthe sind in der früher angegebenen Weise berechnet und auf die erste Decimalstelle cor-

rigirt in die Tabelle eingetragen. Für die grösste der bei diesen Curven vorkommenden Ordinaten (46·7) beträgt der Ausschlag des Myographionhebels $\sphericalangle \vartheta = 16°45'15''$.

I. Versuch an den Schenkelbeugern von Hydrophilus. (Fig. 19.)

Curve	I—VII	x'	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
	I	y	**24·9**	**35·5**	**40·5**	**43·3**	**44·9**	**45·9**	**46·5**	**46·7**	**46·7**	**46·7**	**46·5**
		x	8·1	16·1	24·9	34·1	43·7	53·4	63·2	73.1	83·1	93·1	103·2
	II	y	**23·9**	**32·1**	**35·6**	**37·4**	**38·4**	**39·1**	**39·3**	**39·5**	**39·5**	**39·5**	**39·4**
		x	8·2	16·8	26·0	35·6	45·4	55·2	65·2	75·1	85·1	95·1	105·2
	III	y	**19·6**	**26·3**	**29·1**	**30·6**	**31·4**	**31·9**	**32·3**	**32·4**	**32·4**	**32·4**	**32·2**
		x	8·8	17·9	27·4	37·1	46·9	56·8	66·8	76·7	86·7	96·7	106·8
	IV	y	**16·9**	**21·5**	**23·3**	**24·5**	**25·1**	**25·4**	**25·6**	**25·6**	**25·6**	**25·5**	**25·3**
		x	9·1	18·6	28·3	38·1	48·0	58·0	68·0	78·0	88·0	98·0	108·0
	V	y	**12·9**	**16·2**	**17·5**	**18·2**	**18·7**	**19·0**	**19·0**	**18·9**	**18·7**	**18·7**	**18·6**
		x	9·5	19·2	29·1	39·0	48·9	58·8	68·8	78·9	88·9	98·9	108·9
	VI	y	**9·9**	**11·9**	**12·8**	**13·2**	**13·3**	**13·4**	**13·4**	**13·4**	**13·3**	**13·2**	**13·1**
		x	9·7	19·6	29·5	39·5	49·5	59·5	69·5	79·5	89·5	99·5	109·5
	VII	y	**7·2**	**8·6**	**9·0**	**9·5**	**9·6**	**9·6**	**9·6**	**9·5**	**9·4**	**9·4**	**9·3**
		x	9·8	19·8	29·8	39·7	49·7	59·7	69·7	79·7	89·7	99·7	109·7

II. Versuch an den Schenkelstreckern von Hydrophilus. (Fig. 20.)

Curve	I—VI	x'	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	I	y	**27·3**	**31·7**	**33·5**	**34·4**	**34·8**	**34·9**	**34·9**	**34·9**	**34·9**	**34·6**	**34·6**	**34·6**	**34·5**	**34·5**	**34·4**
		x	7·7	16·9	26·5	36·3	46·2	56·2	66·2	76·2	86·2	96·3	106·3	116·3	126·3	136·3	146·3
	II	y	**16·4**	**17·7**	**18·4**	**18·6**	**18·6**	**18·6**	**18·5**	**18·4**	**18·2**	**18·1**	**18·0**	**17·8**	**17·6**	**17·4**	**17·2**
		x	9·2	19·1	29·0	38·9	48·9	58·9	69·0	79·0	89·0	99·0	109·0	119·1	129·1	139·1	149·1
	III	y	**9·4**	**10·1**	**10·3**	**10·3**	**10·2**	**10·2**	**10·2**	**10·1**	**10·0**	**9·9**	**9·8**	**9·7**	**9·5**	**9·3**	**9·1**
		x	9·7	19·7	29·6	39·6	49·7	59·7	69·7	79·7	89·7	99·7	109·7	119·7	129·7	139·7	149·8
	IV	y	**6·4**	**7·0**	**7·0**	**6·9**	**6·9**	**6·9**	**6·8**	**6·7**	**6·6**	**6·5**	**6·4**	**6·2**	**6·0**	**5·7**	**5·3**
		x	9·9	19·9	29·9	39·9	49·9	59·9	69·9	79·9	89·9	99·9	109·9	119·9	129·9	139·9	149·9
	V	y	**4·9**	**5·2**	**5·2**	**5·0**	**5·0**	**5·0**	**5·0**	**5·0**	**4·9**	**4·9**	**4·7**	**4·5**	**4·4**	**4·3**	**4·1**
		x	9·9	19·9	29·9	39·9	49·9	59·9	69·9	79·9	89·9	99·9	109·9	119·9	129·9	140·0	150·0
	VI	y	**21·4**	**25·8**	**26·6**	**26·6**	**26·7**	**26·8**	**26·8**	**26·8**	**26·8**	**26·7**	**26·6**	**26·5**	**26·4**	**26·3**	**26·3**
		x	8·6	17·9	27·8	37·8	47·8	57·8	67·8	77·8	87·8	97·8	107·8	117·8	127·8	137·9	147·9

III. Versuch an den Schenkelbeugern von Hydrophilus. (Fig. 21.)

	I—V	x'	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curve	I	y	**16·9**	**19·0**	**19·3**	**19·4**	**19·7**	**20·0**	**20·2**	**20·2**	**20·4**	**20·6**	**21·0**	**21·4**
		x	9·1	18·8	28·8	38·8	48·8	58·8	68·7	78·7	88·7	98·7	108·6	118·6
	II	y	**15·5**	**19·5**	**20·1**	**20·5**	**20·9**	**21·3**	**21·6**	**22·0**	**22 2**	**22·4**	**22·5**	**22·6**
		x	9·3	18·9	28·8	38·7	48·7	58·6	68·6	78·5	88·4	98·4	108·4	118·4
	III	y	**18·3**	**21·1**	**22·3**	**23·0**	**23·5**	**24·1**	**24·5**	**24·8**	**24·8**	**25·0**	**25·2**	**25·3**
		x	9·0	18·6	28·4	38·4	48.3	58·2	68·1	78·1	88·1	98·1	108·0	118·0
	IV	y	**20·3**	**22·8**	**24·1**	**24·8**	**25·3**	**25·9**	**26·2**	**26·4**	**26·4**	**26·4**	**26·4**	**26·4**
		x	8·7	18·4	28·2	38·1	48·0	57·9	67·9	77·8	87·8	97·8	107·8	117·8
	V	y	**21·2**	**23·8**	**25·1**	**25·9**	**26·3**	**26·8**	**26·9**	**27·0**	**26·9**	**26·9**	**26·9**	**26·9**
		x	8·6	18·3	28·0	37·9	47·9	57·8	67·8	77·7	87·8	97·8	107·8	117·8

IV. Versuch an den Schenkelbeugern von Hydrophilus. (Fig. 22.)

	I—XII	x'	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	I	y	**32·8**	**37·4**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·1**	**38·5**	**39·1**
		x	6·7	15·6	25·5	35·5	45·5	55·5	65·5	75·5	85·5	95·5	105·4	115·2
	II	y	**33·2**	**38·2**	**39·2**	**39·4**	**39·5**	**39·5**	**39·5**	**39·5**	**39·7**	**39·9**	**40·2**	**40·8**
		x	6·6	15·4	25·2	35·2	45·1	55·1	65·1	75·1	85·1	95·0	105·0	114·8
	III	y	**34·0**	**38·0**	**38·8**	**39·0**	**39·0**	**39·0**	**39·0**	**39·0**	**39·1**	**39·2**	**39·2**	**39·6**
		x	6·4	15·5	25·3	35·2	45·2	55·2	65·2	75·2	85·2	95·2	105·2	115·1
	IV	y	**32·0**	**36·9**	**37·9**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·2**	**38·2**	**38·2**	**38·3**
		x	6.8	15·8	25·5	35·5	45·5	55·5	65·5	75·5	85·4	95·4	105·4	115·4
	V	y	**32·7**	**37·0**	**37·8**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·0**	**38·2**	**38·2**	**38·2**	**38·2**
		x	6·7	15·7	25·5	35·5	45·5	55·5	65·5	75·5	85·4	95·4	105·4	115·4
Curve	VI	y	**32·4**	**36·8**	**37·3**	**37·5**	**37·5**	**37·5**	**37·7**	**37·7**	**37·7**	**37·8**	**37·9**	**37·9**
		x	6·7	15·8	25·7	35·6	45·6	55·6	65·6	75·6	85·6	95·5	105·5	115·5
	VII	y	**32·2**	**36·6**	**37·4**	**37·6**	**38·0**	**38·4**	**38·6**	**38·9**	**39·0**	**39·2**	**39·4**	**39·4**
		x	6·8	15·8	25·6	35·6	45·5	55·4	65·3	75·3	85·2	95·2	105·2	115·2
	VIII	y	**31·9**	**36·0**	**36·8**	**37·2**	**37·7**	**37·9**	**37·9**	**38·1**	**38·5**	**38·7**	**38·9**	**39·1**
		x	6·8	16·0	25·8	35·7	45·6	55·5	65·5	75·5	85·4	95·3	105·3	115·2
	IX	y	**32·3**	**36·3**	**37·0**	**37·5**	**37·9**	**38·2**	**38·4**	**38·6**	**38·8**	**39·0**	**39·1**	**39·4**
		x	6·8	15·9	25·7	35·6	45·5	55·4	65·4	75·3	85·3	95·2	105·2	115·2
	X	y	**31·4**	**34·9**	**36·1**	**36·8**	**37·4**	**37·9**	**38·5**	**38·6**	**38·8**	**39·0**	**39·1**	**39·4**
		x	6·9	16·2	25·9	35·8	45·6	55·5	65·4	75·3	85·3	95·2	105·2	115·2
	XI	y	**31·1**	**34·6**	**35·5**	**36·1**	**36·8**	**37·1**	**37·4**	**37·7**	**37·9**	**38·0**	**38·1**	**38·3**
		x	7·0	16·3	26·1	35·9	45·8	55·7	65·6	75·6	85·5	95·5	105·5	115·4
	XII	y	**30·6**	**34·2**	**35·3**	**35·9**	**36·4**	**36·8**	**37·3**	**37·7**	**37·9**	**38·1**	**38·3**	**38·6**
		x	7·1	16·4	26·1	36·0	45·9	55·8	65·7	75·6	85·5	95·5	105·4	115·3

Der Satz, aus welchem Bohr ableitet, dass die tetanische Curve beim Frosche eine zu den Asymptoten als Axen hingeführte gleichseitige Hyperbel ist, bewährt sich für den *Hydrophilus*-Muskel nicht.

Für keine der in unseren Versuchen verzeichneten Curven ergibt sich, dass die Verhältnisse zwischen Abscissen und Ordinaten in den betreffenden Abscissenpunkten aufgetragen in einer geraden Linie von der Form

$$y = x \operatorname{tang} v + k \ldots .$$

gelegen sind. Es ist dies natürlich auch nicht der Fall, wenn man den Sinus der Ablenkungswinkel des Myographionhebels, wie sie unsere Tabellen enthalten, die entsprechenden Tangenten substituirt. Ich war nicht mit einem so vollkommenen Reizapparate ausgerüstet, wie Bohr, es ist mir aber nicht wahrscheinlich, dass ich an meinem Versuchsobjecte wesentlich andere Resultate damit erzielt hätte.

Zu diesem Schlusse berechtigt, wie ich glaube, die grosse Regelmässigkeit, welche, wie ein Blick auf Fig. 19 und 20 zeigt, in der Repetition der Versuche hervortritt.

Ich habe schon früher bemerkt, dass unsere Versuche einer ziemlich willkürlichen Wahl der Bedingungen entsprechen und dass sie mit Bezug auf die letzteren einer grossen Variation fähig und auch bedürftig wären. Wir werden später auch noch andere Tetanusversuche kennen lernen. Damit man aber die in diesem Abschnitte mitgetheilten Versuche gleich vom richtigen Gesichtspunkte aus beurtheile, möchte ich nur daran erinnern, dass ich an die Käfermuskeln nicht herantrat, um Studien über den Tetanus der Muskeln im Allgemeinen anzustellen. Dazu hätte ich mir gewiss nicht die eben so viel Geduld als Ausdauer erfordernden und Schwierigkeiten der mannigfachsten Art darbietenden Objecte ausgesucht. Die Versuche an diesen haben sich mir vielmehr aufgedrängt, weil ich erfahren wollte, wie die Muskeln, deren Bau ich kurz vorher genauer untersucht hatte, auf bestimmte äussere Einwirkungen reagiren, um so, wie ich das schon in der Einleitung hervorgehoben habe, zu ermitteln, ob abweichende anatomische Eigenschaften der Muskelfasern auch mit abweichenden physiologischen Eigenschaften derselben zusammenfallen. Dazu genügen aber die hier mitgetheilten Versuche, wie sich durch die bald folgende Vergleichung der unter ganz ähnlichen Bedingungen angestellten Versuche an den *Hydrophilus*- und *Dyticus*-Muskeln ergeben wird. Sie weiter zu führen und zu vervollständigen muss Gegenstand weiterer Arbeiten sein.

Mit dieser Einschränkung kann ich, nun noch bei den ersteren verbleibend, doch eine Reihe von bemerkenswerthen Thatsachen nicht unbeachtet lassen, welche sich bei der Betrachtung der so regelmässig verlaufenden Tetanuscurven der Fig. 19, 20, 21 und 22 ergeben.

An den Curven Fig. 19 und 20 ist zu bemerken, dass die Curven bis zu einem bestimmten Maximum ansteigen, gegen das Ende hin aber wieder, wenn auch nur um sehr wenig absinken. Bemerkenswerth ist ferner, dass in beiden Versuchen die Zeit, während welcher die höchsten Ordinaten der Tetanuscurve vorhanden sind, abhängig von der Belastung erscheint.

In Versuch Fig. 19, Tabelle I, fallen in Curve I bei 6 Grm. am Myographionhebel wirkendem Gewichte die höchsten Ordinaten (46·7) auf die Zeit von 11—14 Secunden nach dem Beginne des Tetanus; in Curve II bei 8 Grm. die Ordinaten 39·5 auf 11—14 Secunden; in Curve III bei 10 Grm. die Ordinaten 32·4 auf 11—14 Secunden; in Curve IV bei 12 Grm. die Ordinaten 25·6 auf 10—13 Secunden; in Curve V bei 14 Grm. die Ordinaten 19·0 und 18·9 auf 9—12 Secunden; in Curve VI bei 16 Grm. die Ordinaten 13·4 auf 9—12 Secunden; in Curve VII bei 18 Grm. die Ordinaten 9·6 auf 7—10 Secunden.

Etwas ganz Ähnliches kehrt in dem Versuche Fig. 20, Tabelle II wieder. In Curve I bei 2 Grm. fallen die höchsten Ordinaten 34·9 auf 8—13 Secunden; in Curve II bei 4 Grm. die Ordinaten 18·6 auf 6—7 Secunden; in Curve III bei 6 Grm. die Ordinaten 10·3 auf 4—6 Secunden; in Curve IV bei 8 Grm. die Ordinaten 7·0 auf 3—4 Secunden; in Curve V bei 10 Grm. die Ordinaten 5·2 auf 3—4 Secunden; in Curve VI bei 2 Grm. die Ordinaten 26·8 auf 8—13 Secunden.

Über die kürzeste oder längste Zeit, während welcher ein continuirlicher Tetanus andauern kann, so dass, wie in den Versuchen Fig. 19, Tabelle I und Fig. 20, Tabelle II, gegen das Ende des Tetanus ein geringes Absinken der Curve beobachtet wird, welches die Leistungsfähigkeit des Muskels so wenig beeinträchtigt,

dass in einem verhältnissmässig kurzen Intervalle ein gleich langer Tetanus mit vom Anfange bis zum Ende nahezu gleichem Verlaufe wiederholt werden kann, wie das bei den Versuchen Fig. 19 und 20 der Fall war, kann ich auf Grund der hier ausgewählten Versuche und zahlreicher ähnlicher Versuche, die ich aufbewahre, nichts Bestimmtes aussagen.

Diese Zeit ist bei den Versuchen an den einzelnen Thieren grossen Schwankungen unterworfen. So sehen wir auch gleich in den Versuchen Fig. 21, Tabelle III und Fig. 22, Tabelle IV, welche Tetanuscurven von derselben Dauer und in gleichen Intervallen, wie Fig. 7 darstellen, die Curven ausnahmslos bis zum Ende fortwährend ansteigen.

Ausser dem vorübergehenden Absinken der Curven während der Andauer eines Tetanus, dessen wir soeben gedacht haben, macht sich die nach oft wiederholter Anstrengung des Muskels zu beobachtende bleibende Abnahme der Energie desselben allmälig bemerkbar, wie ein Vergleich der Höhe der Curven der Gruppe I in Fig. 20 mit der Höhe der Curven der Gruppe VI derselben Figur, welche beide Tetani bei 2 Grm. Belastung darstellen, und ein Vergleich der Curven XI und XII in Fig. 22 mit den vorausgehenden Curven derselben Figur ergibt. Der zuletzt besprochene Fall des Absinkens der Energie des Muskels soll später noch durch andere Versuche illustrirt werden. Alle Versuche weisen auf die grosse Ausdauer der Muskeln des *Hydrophilus* im Tetanus hin, in welcher Beziehung sie geradezu grossartige Leistungen erbringen, und dieses Resultat allein möchte ich als das für unsere vergleichenden Studien wichtigste hier noch besonders hervorgehoben haben.

Wesentlich anders als der isolirte *Hydrophilus*-Muskel arbeitet der isolirte *Dyticus*-Muskel. Konnten wir unsere Versuche an *Hydrophilus*-Muskeln vorerst nur als solche ansehen, welche die Wege anzeigen, auf welchen man eine bessere Kenntniss der Physiologie jener Muskeln anstreben müsste, so ist das noch viel mehr der Fall bei den Versuchen an den *Dyticus*-Muskeln. Wie viele solche Versuche ich auch angestellt habe, so sind dieselben doch nur genügend, um im Allgemeinen die Hauptfrage, von der ich ausgegangen war, zu entscheiden, dass nämlich der *Dyticus*-Muskel wesentlich andere physiologische Eigenschaften besitzt, als der *Hydrophilus*-Muskel; an sich können sie aber wieder nur auf den Werth von Vorversuchen zu einer Physiologie des *Dyticus*-Muskels einen Anspruch erheben.

Beabsichtigt man am *Dyticus*-Muskel analoge Repetirversuche anzustellen, wie wir sie früher am *Hydrophilus*-Muskel gemacht haben, so überzeugt man sich sehr bald, dass das ganz in derselben Weise nicht angeht. Die *Dyticus*-Muskeln entwickeln anfänglich rasch eine sehr grosse Energie, sie dauern aber dabei continuirlich so wenig aus, dass sich schon nach kurzen Zeiten der Anstrengung sehr auffallende Erscheinungen von absinkender Energie der Muskeln geltend machen. Aber nicht blos der rasche Eintritt dieser Erscheinungen macht den *Dyticus*-Muskel zu einem viel schwieriger zu behandelnden Objecte, als es der *Hydrophilus*-Muskel ist, die Schwierigkeiten werden noch gesteigert durch den variablen und complicirten Verlauf jener Erscheinungen.

Man muss sehr bedauern, dass eine directe zeitliche Vergleichung der *Dyticus*- und *Hydrophilus*-Muskeln in Bezug auf Hubhöhe, absolute Kraft und mechanischen Nutzeffect durch die Kleinheit und schwierige Zugänglichkeit der betreffenden Muskeln völlig ausgeschlossen ist.

Zu Schlüssen, zu welchen uns solche vergleichende Versuche führen würden, suchte ich eben durch die Repetirversuche auf indirectem Wege zu gelangen.

In der That fördert das Verfahren, nur etwas anders eingerichtet als bei den Versuchen am *Hydrophilus*-Muskel, auch eine weitere merkwürdige Eigenschaft des *Dyticus*-Muskels zu Tage.

Die so leicht zu erschöpfenden *Dyticus*-Muskeln besitzen andererseits auch die Fähigkeit, sich nach längeren Ruhepausen, die man ihnen gewährt, immer wieder bis zu einem gewissen Grade zu erholen.

Die letztere Erscheinung lässt es nun wieder vor Allem bedauern, dass bei den Käfern wohl gar keine Aussicht vorhanden ist, dass es gelingen wird, an Muskeln zu arbeiten, bei welchen die Zufuhr von Nährmateriale und Respirationsluft ebenso wie die Abfuhr der Umsetzungsproducte beherrscht werden könnten.

Am isolirten überlebenden *Dyticus*-Muskel scheinen die vorerwähnten beiden Processe der Erschöpfung und Erholung sehr unregelmässig in einander zu greifen, so dass sehr mannigfache und oft beträchtlich von einander differirende Bilder in den Curven länger dauernder Tetani des *Dyticus*-Muskels auftreten.

Zur besseren Würdigung dieses Gegensatzes zwischen den Bildern längerer Tetani bei *Hydrophilus*- und *Dyticus*-Muskeln will ich aber hier auch gleich auf eine Thatsache hinweisen, die wir später noch näher kennen lernen wollen. Repetirt man beim *Hydrophilus*-Muskel kurze Tetani mit längeren Intervallen, so sind die Bilder nicht wesentlich verschieden von jenen, welche man bei der Repetition von längeren Tetanis in kürzeren Intervallen erhält. Anders bei *Dyticus*; bei diesem zeigen kurze Tetani, in längeren Pausen wiederholt, Bilder, welche von jenen des *Hydrophilus* zwar auch wesentlich verschieden sind, aber die Zeichen von Erschöpfung, welche schon in den ersten Bildern langer Tetani bei *Dyticus* auftreten, machen sich dann erst nach öfterer Wiederholung der kurzen Tetani geltend. Die physiologische Verschiedenheit der beiden Muskeln drückt sich dann hauptsächlich darin aus, dass beim *Hydrophilus* eine sehr grosse Anzahl von Wiederholungen der kurzen Tetani möglich ist, ohne dass die Arbeitsenergie des Muskels sinkt, beim *Dyticus* dagegen nur eine viel beschränktere Anzahl von Wiederholungen.

Die Vergleichung der Bilder langer Tetani beider Muskeln fördert also sofort die Eigenthümlichkeiten beider Muskeln, das in Folge von Thätigkeit auftretende rasche Sinken der Arbeitsenergie bei dem einen, die trotz angestrengter Thätigkeit lange in unveränderter Weise erhaltene Arbeitsenergie des anderen zu Tage. Bei wiederholten kurzen Tetanis dagegen treten bei beiden Muskeln einander viel ähnlichere Bilder auf, insoferne sowohl bei *Hydrophilus* als auch bei *Dyticus* die grösste Höhe der Tetanuscurven in einer Anzahl der anfänglich aufeinanderfolgenden Tetani wiederkehrt. Diese Bemerkung habe ich schon vorläufig gemacht, weil sie dafür spricht, dass der Grund für die in unseren Versuchen an ausgeschalteten überlebenden Muskeln hervortretenden Unterschiede zwischen *Hydrophilus* und *Dyticus*-Muskeln wenigstens der Hauptsache nach nicht in zufälligen, mit der Ausschaltung der Muskeln in dem einen und in dem anderen Falle sich einstellenden verchiedenen Bedingungen gesucht werden kann, sondern in inneren Verschiedenheiten der Muskeln selbst zu suchen ist. Verschiedenheiten, die auch in den intacten, im Thiere functionirenden Muskeln einen wesentlich anderen Ablauf der Erscheinungen bedingen werden, womit eben der verschiedene Bau und eine Reihe später zu prüfender verschiedener Eigenschaften der *Hydrophilus*- und *Dyticus*-Muskeln übereinstimmen.

Ich wähle nun zum Vergleiche mit den früher beschriebenen Versuchen an *Hydrophilus*-Muskeln aus den zahlreichen Versuchen am *Dyticus*-Muskel, welche mir vorliegen, die in den Figuren 23 und 24, Taf. V, 25 und 26, Taf. VI und 27 und 28, Taf. VII sich darstellenden Versuche aus. Es sind wieder im Mittel 18 Secunden währende Tetani von *Dyticus*-Muskeln, uud zwar Fig. 23—27 Tetani der Schenkelstrecker, Fig. 28 Tetani der Schenkelbeuger.

Die Reizfrequenz betrug bei allen im Mittel 54 in der Secunde.

Die übrigen Bedingungen, unter welchen diese Versuche angestellt sind, finden sich in der auf der folgenden Seite befindlichen Tabelle zusammengestellt.

Wenn man an einem ganz frischen Präparate einen Tetanus der erwähnten Dauer hervorgerufen hat und in einem Intervalle von 46 Secunden einen zweiten folgen lässt, so ergibt sich in der Regel, dass dieser zweite Tetanus um Vieles niedriger ausfällt als der erste. Meist ist die Differenz der maximalen Höhen eine sehr grosse. Vergleiche Fig. 25, I (1 u. 2); Fig. 26, I (1 u. 2); Fig. 27, I (1 u. 2); Fig. 28, I (1 u. 2).

Die Curvengruppen der einzelnen Versuche sind in den Tafeln und im Texte wieder mit römischen Zahlen bezeichnet. Die Aufeinanderfolge der einzelnen Curven einer Gruppe ist aus den Tafeln leicht zu entnehmen. Im Texte sind die aufeinanderfolgenden Curven einer Gruppe durch die der römischen Gruppenzahl in Klammern beigesetzten arabischen Zahlen bezeichnet.

Bezeichnung des Versuches	Nummer der Tetanuscurve	Nummer der Gruppe von Tetanuscurven	Am Hebel wirkendes Gewicht in Grammen	Abstand der Rollen des Inductorium in Millimetern	Ruhe zwischen dieser und der vorangehenden Curve oder Curvengruppe in Minuten.	Anzahl der in Pausen von 46 Secunden angeschriebenen Tetanuscurven derselben Gruppe	Anmerkung
Fig. 18	I	.	4	100	—	—	
	II	.	4	„	5	–	
	III	.	3	„	„	—	
	IV	.	2	„	„	—	
	V	.	1	„	„	—	
	.	VI	3	„	„	5	Der Wagen bleibt arretirt.
Fig. 19	I	.	5	100	—	—	
	II	.	4	„	5	—	
	III	.	3	„	„	—	
	IV	.	2	„	„	—	
	.	V	3	„	„	3	
		VI	3	„	10	4	
Fig. 20	.	I	5	100	—	2	
	.	II	5	„	5	„	
	.	III	5	„	„	„	
	.	IV	3	70	„	„	
	.	V	3	„	„	„	
	.	VI	3	40	„	„	
	.	VII	3	„	„	„	
	.	VIII	3	0	„	„	
Fig. 21	.	I	5	100	—	2	
	.	II	5	„	10	3	
	.	III	4	„	„	„	
		IV	3	„	„	„	
	.	V	3	„	„	„	
	.	VI	3	80	„	„	
	.	VII	3	„	„	„	
	.	VIII	3	„	„	„	
	.	IX	3	„	„	„	
	.	X	3	„	135	„	
	.	XI	2	40	30	2	
	.	XII	2	„	60	„	
	.	XIII	2	0	180	„	
	.	XIV	2	„	30	„	
Fig. 22	.	I	5	110	—	2	
	.	II	5	„	„	3	
	.	III	5	„	„	2	
	.	IV	3	80	„	„	
	.	V	3	„	„	„	
	.	VI	3	40	„	„	
	.	VII	3	„	„	„	
	.	VIII	2	„	„	„	
	.	IX	2	0	„	3	
	.	X	2	„	0·766	6	Der Wagen bleibt arretirt.
Fig. 23	.	I	3	100	—	2	
	.	II	3	„	5	„	
	.	III	2	70	„	„	
	.	IV	2	„	„	„	
	.	V	1	40	„	„	
	.	VI	1	„	„	„	
	.	VII	1	0	„	„	
	.	VIII	1	„	„	„	
	.	IX	1	„	„	„	
	.	X	1	„	„	„	
	.	XI	1	„	0·766	„	

Viel seltener als der eben angeführte Fall kommt an den frischen Muskeln der Fall vor, dass die zweite Tetanuscurve der ersten an Höhe noch nahe gleichkommt, obwohl sich dieser Fall öfter an Tetanusgruppen ereignet, die ihrerseits von vorausgehenden Gruppen von Tetanis durch längere Ruhepausen getrennt sind, worauf ich sogleich eingehen werde. Vergleiche einstweilen Fig. 26, II (1 u. 2), III (1 u. 2), IV (1 u. 2), V (1 u. 2), VI (1 u. 2); Fig. 27, II (1 u. 2).

Durch diese Erfahrungen am *Dyticus*-Muskel und den gleich zu besprechenden eigenthümlichen Verlauf der ersten Tetanuscurve waren an diesem Objecte Versuche nach der Analogie der in Fig. 19 und 20 dargestellten, an den *Hydrophilus*-Muskeln gemachten Repetirversuche völlig ausgeschlossen.

Ein 18 Secunden währender, einer Reizfrequenz von 54 in der Secunde entsprechender Tetanus eines belasteten Muskels muss nun im Vergleiche zu den Leistungen, welche dem *Dyticus*-Muskel während des normalen Ablaufes des Lebens dieses Thieres auferlegt sind, gewiss als harte Probe bezeichnet werden; allein solche Überlegungen der Ursachen des Misserfolges meiner Versuche an den *Dyticus*-Muskeln waren nicht mehr die nächsten, welche ich anzustellen hatte.

Ich musste mich vielmehr im Hinblicke auf die Versuche am *Hydrophilus* sofort fragen: warum halten die Muskeln dieses Thieres jene Probe aus, die Muskeln von *Dyticus* aber nicht?

Von diesem vergleichenden Standpunkte aus führt aber die beobachtete Ausdauer des *Hydrophilus*-Muskels den von uns angewendeten Reizmitteln und Erholungspausen gegenüber auf die Frage, wie sich ein *Dyticus*-Muskel verhält, wenn man ihm längere Ruhepausen zwischen den wie früher gewählten Reizperioden gestattet.

Ich suchte also zunächst, ob man den in Fig. 19 und 20 dargestellten Versuchen ähnliche Versuche am *Dyticus*-Muskel anstellen kann, wenn man nur immer einen Tetanus anschreibt und zwischen diesem und dem nächstfolgenden z. B. eine Ruhepause von 5 Minuten einschaltet. Solche Versuche stellen die Fig. 23, I, II, III, IV, V und VII (1) und Fig. 24 I, II, III, IV und V (1) dar.

Wie man sieht, weichen die Versuche noch immer beträchtlich von den Versuchen am *Hydrophilus*-Muskel ab. Es zeigt sich aber ganz deutlich, dass die Erschöpfung, in welcher ein dem ersten Tetanus in kurzem Intervalle folgender zweiter Tetanus den Muskel trifft, keine definitive ist. Ein dem ersten Tetanus in längerem Intervalle folgender Tetanus zeigt vielmehr, dass sich der Muskel aus der Erschöpfung, welche dem ersten Tetanus folgte, wieder bis zu einem beträchtlichen Grade erholt hat, und dasselbe ist für jeden folgenden Tetanus der Fall, wenn ihn ein eben so langes Intervall von dem vorausgehenden trennt. Wenn man aber nun wieder einem Tetanus in kurzem Intervalle einen zweiten u. s. w. folgen lässt, tritt in den sich folgenden Tetanis wieder die grosse Erschöpfung des Muskels durch jeden vorausgehenden Tetanus zu Tage. Fig. 23 VI (1, 2, 3, 4, 5), Fig. 24 V (1, 2, 3) und die von V durch ein Intervall von 10 Minuten getrennte Gruppe VI (1, 2, 3, 4).

Die abwechselnde Erschöpfung durch längere Tetani und Wiedererholung durch längere Ruhepausen, wie sie beim *Dyticus*-Muskel beobachtet werden kann, demonstriren aber in sehr auffallender Weise die Versuche Fig. 25, 26, 27 und 28, in welchen Gruppen von längeren Tetanis in Pausen von 5 oder 10 Minuten angeschrieben sind, während die in den einzelnen Gruppen vorhandenen Tetani in Pausen von 46 Secunden sich wiederholen. In der Regel wurden in den einzelnen Gruppen nur zwei Tetani angeschrieben, wie in allen Gruppen der Fig. 25 und 28, in den Gruppen I, III, IV, V, VI, VII, VIII der Fig. 27 und in I, XI, XII, XIII, XIV der Fig. 26.

Drei aufeinanderfolgende Tetani in einer Gruppe wurden dann angeschrieben, wenn der zweite Tetanus einer Gruppe nicht auffallend niedriger war als der erste.

Ich habe schon bemerkt, dass dieser Fall meist erst in repetirten Gruppen auftrat. Er findet sich in Fig. 27, II und in sehr auffallender Weise in Fig. 26, II bis X. Bei dem letzteren Versuche sind die Gruppen durch Pausen von 10 Minuten getrennt. Ich bemerke aber, dass bei zahlreichen Versuchen, die in derselben Weise wie die in den Fig. 25—28 verzeichneten angestellt wurden, Versuche mit 5 Minuten Pause zwischen den Gruppen einen ähnlichen Verlauf nahmen, wie die Versuche in Fig. 26 und andererseits Versuche mit

10 Minuten Pause einen ähnlichen Verlauf, wie die Versuche in Fig. 25, 27 und 28, woraus ich entnehmen musste, dass 5 Minuten Ruhe den Muskel schon nahe auf jenen Grad der Erholung bringen, welchen er überhaupt zu erreichen im Stande ist. Dies scheint aber nur für eine bestimmte Zeit nach Herstellung des Präparates zu gelten. Wenn einmal viele Versuche an demselben Muskel angestellt wurden, gewinnen längere Pausen einen sichtlichen Einfluss auf den Grad der Erholung. Man beachte in dieser Beziehung Fig. 26 X, XI, XII, XIII, XIV, für welche die vorangehenden Ruhepausen 135, 30, 60, 180, 30 Minuten betragen. In Fig. 26 XIII und XIV ist nur der Anfang der Reizperiode der letzten an dem Präparate angestellten Versuche in der Tafel wiedergegeben, da an dem nun im Absterben begriffenen Muskel nur im Anfange der Reizbarkeit die verzeichneten Hebungen vorkamen.

Ich habe noch auf Fig. 27 IX und X zu verweisen, welche ebenso wie Fig. 23 VI und Fig. 24 VII die rasch zunehmende Erschöpfung des Muskels in Folge von in kurzen Intervallen repetirten Tetanis illustriren.

Bevor ich zu den Folgerungen aus unseren vergleichenden Versuchen übergehe, ist nun noch Einiges über den Verlauf der einzelnen langen Tetani bei *Dyticus* zu bemerken. Derselbe ist ein wesentlich anderer als beim *Hydrophilus*-Muskel.

Die ersten Tetani, welche vom frisch präparirten *Dyticus*-Muskel erhalten werden, steigen viel steiler an, als jene vom *Hydrophilus*, und meist zeigt sich am Ende des steilen Anstieges ein spitzer Gipfel, von welchem die Curve abfällt, um nach kürzerem oder längerem Verlaufe zu einem zweiten gedehnteren Berge anzusteigen, der oft höher ist als der erste Gipfel, von da fällt sie definitiv oder unter leichten Schwankungen, deren eine oft knapp am Schlusse liegt, gegen das Ende hin meist sehr beträchtlich ab. Fig. 23, 24, 25, 26, 27, I (1).

In den nach längeren Pausen dem zuerst angeschriebenen Tetanus zunächst folgenden Tetanuscurven kehrt meist nur der steile Anstieg, selten der erste Gipfel wieder. Fig. 23 II—VI (1), Fig. 24, II—IV, Fig. 26 II (1), III (1), IV (1), Fig. 28 II (1), III (1).

Dagegen fehlt der steile Anstieg gerade in den nach kurzen Intervallen angeschriebenen Tetanis oder ist in denselben doch weniger ausgesprochen, wie zahlreiche Curven, Fig. 23—28, zeigen.

Der steile Anstieg fehlt auch in den nach öfterer Repetition von Tetanis in abwechselnd längeren und kürzeren Pausen erhaltenen Tetanuscurven 1 von späteren Gruppen, z. B. Fig. 24 V (1) und VI (1), Fig. 26 V (1), seltener kommt dies auch schon bei früheren Gruppen vor, z. B. Fig. 27 II (1) und III (1).

Solche im Anfange sehr allmälig ansteigende Curven erheben sich dann oft erst am Ende des Tetanus zu ihrer grössten Höhe, wie viele Beispiele in den Tafeln ergeben.

Der steile Anstieg kann sich aber dann bei späteren Gruppen wieder einstellen, wenn grössere Reizstärken zur Hervorbringung des Tetanus angewendet werden, z. B. Fig. 26 VI (1), X (1), XI (1), Fig. 27 IV (1) und VI (1).

Endlich ist für die Tetanuscurven des *Dyticus*-Muskels noch anzuführen, dass sie sehr häufig, aber bei weitem nicht immer von Contractur begleitet sind, die oft gerade bei den ersten Tetanuscurven so bedeutend ist, dass das Ende des Tetanus nur durch eine leichte Senkung in der Curve angedeutet erscheint.

Ich habe nun in aller Kürze angeführt, was bei den Tetanusversuchen am *Dyticus*-Muskel als besonders bemerkenswerth im Vergleiche mit dem *Hydrophilus*-Muskel hervortritt. Einer genaueren Analyse der Erscheinungen, die sich in den meisten Fällen nur schwer und häufig auch gar nicht geben lässt, bin ich vorläufig absichtlich aus dem Wege gegangen.

Hätte ich die früher erwähnten Versuche am *Hydrophilus*-Muskel nicht schon angestellt gehabt, als ich die Untersuchung des *Dyticus*-Muskels begann, so hätte die letztere vielleicht eine ganz andere Gestalt angenommen. So wie die Dinge lagen, wollte ich ja aber gerade erfahren, wie sich der *Dyticus*-Muskel den Einwirkungen gegenüber verhält, gegen welche sich der *Hydrophilus*-Muskel so ausdauernd zeigte.

Wie lückenhaft unsere an beiden Muskelarten gasammelten Erfahrungen nun aber auch sein mögen, ihre Gegenüberstellung berechtigt uns doch zu einigen wichtigen Folgerungen. Der *Hydrophilus*-Muskel erhält sich trotz anstrengender Leistungen durch lange Zeit so leistungsfähig, dass er, wenn ihm auch nur kurze Ruhe

zwischen längeren und in gewisser Zahl aufeinanderfolgenden Perioden der Thätigkeit gewährt wird, doch nur ganz allmälig erschöpft wird. Der *Dyticus*-Muskel dagegen wird durch anstrengende Leistungen in verhältnissmässig kurzer Zeit erschöpft, wenn ihm aber zwischen den Perioden erschöpfender Thätigkeit auch längere Ruhe gewährt wird, so kann er sich während der letzteren auch nach oft wiederholter solcher Anstrengung immer wieder bis zu einem gewissen Grade erholen.

Aufbrauch und Wiedergewinn von potentieller Energie nehmen also im *Hydrophilus*-Muskel einen ganz anderen Verlauf als im *Dyticus*-Muskel. Das ist den beobachteten Thatsachen unmittelbar zu entnehmen. Eine nähere Präcisirung dieser physiologischen Verschiedenheit lässt sich aber vorläufig nicht geben, weil uns über die Natur des chemischen Processes in den beiden Muskelarten nur ganz allgemeine Vermuthungen aufzustellen möglich ist.

Nehmen wir an, dass die isolirten Muskeln, und um solche handelt es sich in unseren Versuchen, Materiale in sich aufgespeichert enthalten, welches sie befähigt, mechanische Leistungen zu erbringen und nennen wir dasselbe angebildetes Arbeitsmateriale.

Setzen wir ferner voraus, dass dem Muskel zu Arbeitszwecken anbildbares Materiale zur Verfügung steht, sei es in den zum Aufbau des Muskels selbst verwendeten Substanzen, sei es in den Resten von Nährflüssigkeit, welche auch noch den isolirten Muskel durchtränken, und nehmen wir an, dass er aus diesem anbildbaren Materiale den Verbrauch von angebildetem Arbeitsmateriale ersetzt; dann wären für Aufbrauch und Wiedergewinn von potentieller Energie, wie wir sie am *Hydrophilus*- und *Dyticus*-Muskel beobachten können, eine Reihe von Annahmen möglich.

Der *Hydrophilus*-Muskel könnte so ausdauernd gefunden werden, wie wir ihn beobachtet haben, weil er einen grossen Vorrath von angebildetem Arbeitsmateriale in sich enthält, der aber unter dem Einflusse zeitlicher Verbrauchshemmungen steht, so dass derselbe nicht auf einmal, sondern nur allmälig verbraucht werden kann. Daneben könnte noch überdies eine ebenso allmälige Anbildung von Arbeitsmateriale stattfinden; oder aber wir könnten auch annehmen, dass ohne besonderen Vorrath an Arbeitsmateriale beim *Hydrophilus*-Muskel Verbrauch und Anbildung von Arbeitsmateriale immer nahezu gleichen Schritt halten. Durch beide Annahmen würde sich erklären, dass der *Hydrophilus*-Muskel lange Zeit ohne Erschöpfung thätig sein kann.

Beim *Dyticus*-Muskel weisen die Erscheinungen auf wesentlich andere Vorgänge hin. Er besitzt keinen anhaltenden Vorrath von Arbeitsmateriale; was er davon in sich enthält, verbraucht er, wenn Leistungen von ihm angesprochen werden, rasch und ungehemmt, diesem Verbrauch hält die Anbildung niemals Schritt. Er bedarf, um sich leistungsfähig zu erhalten, immer längerer Ruhepausen, während welcher sich die Anbildung von Arbeitsmateriale vollziehen kann, welches er bei erneuter Erregung eben so rasch wieder verbraucht.

VII. Die Muskelzuckung von Hydrophilus, Dyticus und einigen anderen Käfern.

Man wird bei Durchlesung dieses Abschnittes, welcher hauptsächlich den zeitlichen Verlauf der Muskelzuckung bei verschiedenen Käfern behandeln soll, vielleicht die Frage aufwerfen: Warum ich diese Mittheilungen nicht an erster Stelle in dieser Abhandlung gebracht habe?

Der Grund dafür ist einfach der, dass ich Tetanisirungsversuche an den Muskeln von *Hydrophilus* und *Dyticus* in der That viel früher anstellen lernte, als mir auch die Darstellung von Einzelzuckungen gelang. Bei den Tetanusversuchen bin ich aber sofort auf das früher behandelte, merkwürdige, grosse Vermögen und die Ausdauer des *Hydrophilus*-Muskels im Tetanus geführt worden und das bedingte die Parallelversuche am *Dyticus*-Muskel. Das so auffallend abweichende Resultat beider Versuchsreihen machte mir aber die Versuche, auch Einzelzuckungen von beiden Muskeln zu gewinnen, zur gebieterischen Nothwendigkeit, weil ich mir sagen musste, dass in diesen ein Element für die Erklärung der früher mitgetheilten Versuche vor Allem gefunden werden könne.

Es gelang mir dann auch bald, solche Einzelzuckungen darzustellen, und ich habe das Ergebniss dieser Untersuchungen für sich in meiner Abhandlung:[1] „Zur Kenntniss des Zuckungsverlaufes quergestreifter Muskeln“, vor einiger Zeit veröffentlicht.

Ich bin damals die genauere Beschreibung der Herstellung der Präparate und der Einrichtung der Versuche schuldig geblieben.

Jetzt verweise ich in dieser Beziehung auf den dritten Abschnitt dieser Abhandlung insonderheit auf S. 15 [207], wo diese Beschreibung gegeben ist.

Ich habe aber seither noch bei einigen anderen Thieren solche Einzelzuckungen dargestellt und ausserdem auch Reihen von Einzelzuckungen von *Hydrophilus* und *Dyticus* auf langsam bewegter Schreibfläche.

An die Mittheilung dieser neuen Versuche muss ich aber des Zusammenhanges wegen auch Einiges von den schon veröffentlichten Versuchen anknüpfen.

In der vorerwähnten Abhandlung habe ich Zuckungscurven und deren zeitliche Auswerthung von *Dyticus marginalis, Hydrophilus piceus* und *Melolontha vulgaris* veröffentlicht.

Dazu füge ich jetzt den zeitlichen Verlauf der Zuckung in den Schenkelstreckern von *Cybisteter Roeseli Lucanus cervus* und zweier *Carabiden* nämlich von *Procerus gigas* und *Procrustes coriaceus.* Er wurde in derselben Weise auf myographischem Wege ermittelt, wie bei den früheren Käfern.

In Fig. 29, Taf. IV, finden sich Myogramme von Einzelzuckungen jener Käfer, mit Ausnahme von *Cybisteter,* zusammengestellt, und zwar entsprechen dieselben Zuckungen, welche bei 1—2 Grm. am Hebel wirkendem Gewichte durch einen einzigen Öffnungsinductionsschlag hervorgebracht wurden. Die Stimmgabelschrift darunter gibt $^1/_{100}$ Secunden an.

Der Zuckungsverlauf ist in der beifolgenden Tabelle zusammengestellt, welche die Dauer der einzelnen Stadien einer Zuckung in Secunden angibt.

Käfer	Stadium der latenten Reizung	Zuckung	aufsteigender Curventheil	absteigender Curventheil	Abbildung einer Zuckung in Taf. III, Fig. 29
Dyticus marginalis . . .	0·017	0·112	0·055	0·057	*A*
Cybisteter Roeseli	0·016	0·115	0·059	0·056	—
Procrustes coriaceus . . .	0·040	0·292	0·061	0·231	*F*
Procerus gigas	0·045	0·296	0·064	0·232	*E*
Hydrophilus piceus . . .	0·047	0·350	0·108	0·242	*D*
Lucanus cervus	0·047	0·380	0·110	0·270	*B*
Melolontha vulgaris . . .	0·075	0·527	0·116	0·411	*C*

Die Zahlen für *Cybisteter* und *Lucanus* sind eben so wie jene von *Dyticus, Hydrophilus* und *Melolontha* die Mittelzahlen[2] aus einer grossen Anzahl von Versuchen, dagegen standen mir für *Procrustes* und *Procerus* nur je fünf Versuche zu Gebote und sind die angegebenen Zahlen aus diesen wenigen Versuchen berechnet. Bemerkenswerth ist die Folge, in welcher die Thiere in der Tabelle auftreten, gewiss.

Die Muskeln der zwei Dyticiden stimmen mit einander überein, so wie sie auch einen übereinstimmenden Bau haben.

Dann folgen die Muskeln der zwei Carabiden. Es stehen aber auch in Bezug auf den Bau die Muskeln dieser Thiere jenen der Dyticiden näher. Beide Familien haben Muskeln mit Kernenreihen im Innern, die in grösseren Ansammlungen von Sarcoplasma liegen. Sie unterscheiden sich aber durch die Form und Anordnung der Muskelsäulchen. Die Cohnheim'schen Felder sind bei den Dyticiden sehr verlängert und radiär gestellt, bei den genannten Carabiden polygonal und ebenmässig entwickelt. Die Muskelfasern der Hydro-

[1] Sitzungsber. d. mathem.-naturw. Cl. d. kais. Akad. d. Wissensch. in Wien, Bd. LXXXIX, Abth. III, 1884, S. 346.

[2] Vergl. l. c. S. 350.

philiden, Lucaniden und Scarabaeiden haben ihre Kerne an der Oberfläche dicht unter dem Sarcolemma. In Bezug auf die Grösse des Gesammtquerschnittes und die Grösse ihrer polygonalen Cohnheim'schen Felder stehen die Muskeln von *Lucanus,* jenen des *Hydrophilus* näher, als denen von *Melolontha.*

Am meisten verschieden von allen übrigen Zuckungscurven ist, wie ein Blick auf Fig. 29 lehrt, die Zuckungscurve der Dyticiden nicht nur durch ihren raschen Verlauf und ihre Höhe, sondern auch durch die energischen, um die Abscissenaxe auf- und abgehenden elastischen Endschwankungen.

Diese halten sich in den Curven der trägeren Muskeln meist über der Abscissenaxe und sind viel weniger energisch.

Ebenso wie die Zuckung fällt auch der oben näher erwähnte Bau der Dyticiden-Muskeln als der von allen anderen Muskeln am meisten verschiedene auf. [1]

Ich schliesse hier die Besprechung von Einzelzuckungen der Muskeln von *Dyticus* und *Hydrophilus* an, welche ich, hauptsächlich mit Rücksicht auf die Versuche, die im nächsten Abschnitte mitgetheilt werden sollen, auf langsam bewegter Schreibfläche des Myographion dargestellt habe. Die Versuche sind in Fig. 30 (1—9) durch Beispiele illustrirt, deren Mittheilung genügt, weil alle Versuche, die ich angestellt habe, und es ist das eine sehr grosse Zahl, einen hohen Grad von Übereinstimmung unter einander zeigen.

Fig. 30 (1) sind Einzelzuckungen des Schenkelstreckers von *Dyticus* an einem ganz frisch präparirten Muskel. Am Hebel wirkte ein Gewicht von 2 Grm., der Rollenabstand betrug 120^{mm}, und wechselten Öffnungs- und Schliessungsschläge mit einander ab.

Nachdem 12 Zuckungen, wie in Fig. 30 (1), dargestellt waren, wurden fünf Minuten Pause gemacht, worauf unter den früher genannten gleichen Bedingungen der Versuch Fig. 30 (2) folgte.

Das Intervall zwischen den Zuckungen in 1 betrug im Mittel nahe an 6 Secunden, während in 2 die Zuckungen in einem Intervalle von ungefähr 1·5 Secunden aufeinanderfolgten. Dass der Abstand der Zuckungen in diesen und den übrigen Versuchen der Fig. 30 kein völlig gleichmässiger ist, wie sich aus der directen Betrachtung und der Vergleichung mit der unter den Zuckungscurven angebrachten, Secunden darstellenden Zeitschrift ergibt, ist dem Umstande zuzuschreiben, dass die intendirte Austheilung der Reize bei dem Verfahren, welches ich benützte, nur nahezu erreicht wurde. Das soll im nächsten Abschnitte noch berührt werden.

In den Versuchen 1 und 2 ist die grössere Höhe der ersten Zuckung bemerkenswerth, die übrigen Zuckungen verliefen mit abwechselnd grösserer und geringerer Höhe ziemlich gleichmässig.

Fig. 30 (3) stellt Einzelzuckungen des *Dyticus*-Muskels dar, wieder bei 2 Grm. am Hebel wirkendem Gewichte und 120^{mm} Rollenabstande in Intervallen von 1·5 Secunden, nachdem an demselben Präparate unmittelbar vorher eine Reihe von kurzen, in kurzen Intervallen folgende Tetani bei wechselnder Reizfrequenz dargestellt worden waren und der Muskel dadurch in den Zustand der Erschöpfung gebracht worden war. Die Einzelzuckungen erscheinen im Vergleiche mit 1 und 2 sehr niedrig und auch gedehnt.

Fig. 30 (4 und 5) sind Einzelzuckungen eines ganz frisch präparirten Schenkelbeugers von *Hydrophilus,* bei 4 Grm. am Hebel wirkendem Gewichte und einem Rollenabstand von 60^{mm} erhalten.

Fig. 30 (6 und 7) stellen unter denselben Bedingungen erhaltene Einzelzuckungen eines *Hydrophilus*-Muskels dar, welcher durch viele vorausgehende Tetanusversuche ermüdet war. Die Zuckungen erscheinen sehr stark gedehnt. In noch viel höherem Maasse tritt aber diese bekannte [2] Dehnung der Zuckungen durch die Ermüdung in Fig. 30 (8 und 9) hervor, welche Versuche an einem sehr stark ermüdeten *Hydrophilus*-Muskel wiedergeben.

In Fig. 30 (9) setzen sich die starkgedehnten Zuckungen des ermüdeten Muskels schon deutlich zu einem niedrigen Tetanus von klonischem Verlaufe zusammen und ist, was ich gleich hier bemerken will, durch die Tetanuscurve Fig. 30 (9) so zu sagen ad oculos auch das Gefüge dieses Tetanus blossgelegt.

---

[1] Vergleiche über die hier kurz berührten Verschiedenheiten des Baues der Muskelfasern meine Untersuchungen etc." Diese Denkschriften, Bd. XLIX, S. 81 und Bd. LI, S. 23.

[2] Funke, Über den Einfluss der Ermüdung auf den zeitlichen Verlauf der Muskelthätigkeit. Freiburger Programm. 1873.

Wir werden auf diese Thatsache im nächsten Abschnitte zurückkommen. Sie ist, wenn auch nicht so auffallend wie in Fig. 30 (9), schon in Fig. 30 (8) zu beobachten.

Die Belastungen und Reizstärken waren in den eben mitgetheilten Versuchen nach den Erfahrungen gewählt, welche in den Versuchen über die Einzelzuckungen in Folge eines einzigen Öffnungsinductionsschlages gewonnen worden waren.

Die beschriebenen Versuche berechtigen uns zu den folgenden Schlüssen:

Der frische *Dyticus*-Muskel ist dem frischen *Hydrophilus*-Muskel in Bezug auf Schnelligkeit und Energie der Einzelzuckung weit überlegen. Man erinnere sich hier daran, dass die für die Versuche benützten *Dyticus*-Muskeln an Länge den benützten *Hydrophilus*-Muskeln nachstehen, während die Verkürzungsgrösse der ersteren die der letzteren weit übertrifft.

Der *Dyticus*-Muskel verliert aber durch fortgesetzte Thätigkeit rasch die Energie seiner Zuckungen und zwar diese in viel höherem Grade, als die Schnelligkeit der Zuckung; aber auch die letztere nimmt deutlich ab.

Der träger zuckende *Hydrophilus*-Muskel erhält sich dagegen auch nach lange fortgesetzter Thätigkeit die Energie seiner Zuckungen noch in verhältnissmässig wenig verringertem Grade, dagegen werden die Zuckungen im Verlaufe einer länger und öfter fortgesetzten Thätigkeit allmälig immer gedehnter, so dass schliesslich die Zuckung des Muskels eine über zwanzig Mal längere Dauer zeigen kann, als am frischen Muskel.

VIII. Entstehung des Tetanus bei Hydrophilus und Dyticus.

Nach den Erfahrungen, welche namentlich Kronecker und Stirling an den flinken und trägen Muskeln vom Kaninchen gesammelt hatten, war vorauszusehen, dass die Muskeln von *Hydrophilus* bei steigender Frequenz tetanisirender Reize ganz andere myographische Bilder ergeben werden, als die Muskeln von *Dyticus*. Bei den ersteren war nach den Zuckungszeiten frischer Muskeln, die im vorausgehenden Abschnitte zusammengestellt sind, eine Rückkehr zur Ruhelänge zwischen den, den einzelnen Reizen entsprechenden Zuckungen nur zu erwarten, wenn die Anzahl isoperiodisch folgender Reize in der Secunde unter 3 betragen würde, bei den Dyticiden-Muskeln dagegen noch bei allen unter 8 liegenden Reizfrequenzen.

Über die Reizfrequenzen von 2·52 in der Secunde bei *Hydrophilus*, und 7·75 in der Secunde bei *Dyticus* hinaus, waren zunächst mit Zacken versehene klonische Tetani zu erwarten, die bei steigender Reizfrequenz bei *Hydrophilus* viel früher als bei *Dyticus* in glatten Tetanus übergehen müssten.

Ich strebte auch zur Prüfung dieser Thatsachen Repetirversuche nach Art der in den Abschnitten IV und VI mitgetheilten an. Nur sollten dabei den Muskeln viel kürzere Tetani in längeren Pausen sich folgend auferlegt werden.

Als ich mich nach einem passenden Mittel besann, um bei solchen Versuchen die Reizfrequenz innerhalb der erwünschten Grenzen rasch und bequem zu ändern, zog ich einen Foucault-Rhumkorf'schen Interruptor heran, welchen früher schon Stirling[1] und Kronecker und Stirling[2] bei physiologischen Versuchen benützt haben.

Ich bemerke, dass einzelne meiner Versuche schon in das Jahr 1883 zurückreichen.[3] Dieser Unterbrecher entspricht freilich in mancher Beziehung nicht den Anforderungen, welche man an einen solchen Apparat gerne stellen wird, aber für die nächsten Zwecke, die ich anstrebte, fielen die Versuche damit so befriedigend aus, dass ich in Ermanglung einer anderen Vorrichtung damit weiter arbeitete.

Der Verlauf der Versuche liess mich aber schliesslich doch bedauern, dass mir bis heute keiner von den neueren Reizapparaten, wie sie Bohr, v. Voit und v. Frey benützen konnten, zur Verfügung stand.

---

[1] Stirling, Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig. 1874, S. 223.

[2] L. c. S. 5.

[3] Zuckungscurven und die in diesem Abschnitte mitzutheilenden Versuche über Tetanus bei steigender Reizfrequenz von *Hydrophilus* und *Dyticus* habe ich in Originalcurven auch schon auf der Naturforscherversammlung in Strassburg demonstrirt.

Der Interruptor, welchen ich benützte, war ein sogenannter doppelter mit eigenem Strome als Motor für den Unterbrecher und davon getrenntem zweiten ausnutzbaren Strome.

Er hatte sonst die gewöhnliche Form. [1]

Bekanntlich kann die Oscillationsgeschwindigkeit des Hammers dieses Unterbrechers variirt werden, durch verschiedene Einstellung einer schweren Metallkugel, die nach Art eines Laufgewichtes an einer vertical auf den Hammer aufgesetzten Stange verschiebbar ist.

Die Anordnung der Versuche blieb dieselbe, wie sie in Fig. 6, Taf. I schematisch dargestellt ist, nur wurde an Stelle des aus dem Inductorium ausschaltbaren Halske'schen Stromunterbrechers der von Foucault eingeschaltet.

Ich überzeugte mich zunächst, dass eine ganz constante Kette als Motor für den Interruptor und eine bestimmte Entfernung des Ankers von den Elektromagnetpolen vorausgesetzt, jede bestimmte Einstellung der früher erwähnten Metallkugel auf der Stange auch eine ganz bestimmte und immer wiederkehrende Oscillationsgeschwindigkeit des Hammers ergibt, die auch sehr gut gemessen werden kann.

Als Motor für den Interruptor diente eines der früher genannten constanten Zinkkupferelemente.

An dem benützten Unterbrecher befand sich für gewöhnlich eine 14^{cm} lange Stange für die Metallkugel, an deren Stelle konnte aber auch eine viel längere, die ich gelegentlich benützte, eingeschraubt werden.

Wenn sich die Metallkugel ganz am oberen Ende der 14^{cm} langen Stange befand, gab der Hammer nahe an drei Schwingungen in der Secunde, wenn sie auf 14^{cm} herabgeschoben wurde, gab er über 19 Schwingungen in der Secunde, durch langsames Verschieben der Metallkugel an der Stange liessen sich alle dazwischen liegenden Frequenzen erhalten.

Für die Versuche fand ich es dagegen bequem und zweckmässig, die Kugel in Sprüngen auf der Stange einzustellen. Ich ging damit von 0 (Stellung der Metallkugel am obersten Ende der Stange) auf 3, 6, 9, 12, 14^{cm} nach abwärts und nahm schliesslich die Metallkugel ganz fort. Bei diesen Stellungen der Metallkugel ergaben sich die nachfolgenden Schwingungen des Hammers in der Secunde, deren mit zwei multiplicirte Anzahl bei wirksamen Öffnungs- und Schliessungsschlägen die Anzahl der Reize in der Secunde ergibt.

Einstellung der Metallkugel	Anzahl der Oscillationen in der Sec.	Anzahl der Reizungen in der Sec.	Nummer der Abstufung
0	2·98	5·96	1
3	3·65	7·30	2
6	4·47	8·94	3
9	5·63	11·26	4
12	7·58	15·16	5
14	9·70	19·40	6
weg	12·15	24·30	7

Bestimmt wurden die Schwingungszahlen aus je zwei Zeitschriften, die auf rotirender Trommel erhalten wurden, von welchen immer die eine Secunden markirte, die andere aber den Gang des Unterbrecherwerkes mittelst eines in den Kreis des zu unterbrechenden Stromes geschalteten Signal Deprez verzeichnete.

Zur Verdeutlichung des Gesagten möge Fig. 37 II dienen. Unter dem angeschriebenen Tetanus *a* sind in *b* Secunden, in *c* mit dem Signal Deprez die Reizfrequenz (unserer Abstufung 1 entsprechend) verzeichnet. Die Marken nach aufwärts in *c* bedeuten Öffnung, die Marken nach abwärts Schliessung des Stromes. Gleichabstehend sind die Öffnungen und Schliessungen bei diesem Unterbrecher eben so wenig wie bei dem gewöhnlichen Hammerwerke des Inductorium. Es ist vielmehr aus *c* zu ersehen, dass das Intervall zwischen Schlies-

[1] Wiedemann, Die Lehre von der Elektricität, Bd. IV. Braunschweig 1885, S. 546, Fig. 105.

sung und Öffnung grösser ist, als das Intervall zwischen Öffnung und darauffolgender Schliessung. Die Intervalle, deren Verhältniss bei den verschiedenen Frequenzen des Hammers des Unterbrechers variirt, lassen sich aber aus den Curvenschriften bestimmen.

Für alle unsere Frequenzabstufungen fielen die Schriften ähnlich scharf aus, wie in Fig. 37 II *c.* Sie wurden unter dem Mikroskope mikrometrisch ausgemessen und so die Intervalle ermittelt. Diese Möglichkeit ist für die Anwendbarkeit des Unterbrechers von Wichtigkeit.

Unser Reizapparat gibt abwechselnd stärker und schwächer wirkende Inductionsschläge, dieser Umstand zusammen mit den alternirend grösseren und kleineren Intervallen der Schläge bedingt eine in vieler Beziehung unliebsame Complication und erschwerte Auslegung der Myogramme. Dagegen tauscht man aber, namentlich für vergleichende Versuche, wie die mitzutheilenden, auch einen kleinen Vortheil ein und dieser ist, dass solche Myogramme gleichsam als Erprobung der Treue anzusehen sind, mit welcher der Muskel die ihn treffenden Reize abbildet. Innerhalb der Grenzen, in welchen ich den Interruptor benützte, functionirte derselbe mit den angeführten Besonderheiten völlig regelmässig und in quantitativ bestimmbarer Weise, wenn er nur sauber gehandhabt wurde. Über die angeführten sieben Abstufungen hinaus, habe ich denselben nicht benützt. Für jede den erwähnten sieben Abstufungen entsprechend verzeichnete Frequenz wurde die Anzahl der Schwingungen von 10 zu 10 der gleichzeitig markirten Secunden dem ganzen Umfange des rotirenden Cylinders entsprechend, gezählt, und daraus die Anzahl der Schwingungen in der Secunde berechnet, die in der früheren Tabelle verzeichnet ist. Eine sehr gute Controle für den Gang des Interruptors geben aber die Myogramme selbst ab, zu welchen ich nun übergehe.

Myogramme bei steigender Frequenz des Interruptors und zwar den verzeichneten Abstufungen entsprechend, sind in den Fig. 31 und 32, Taf. VIII und 33, Taf. IX wiedergegeben. Bei der Vergleichung der am *Hydrophilus* angestellten Versuche Fig. 31 mit den am *Dyticus* angestellten Versuchen Fig. 32 und 33 ergibt sich sofort eine ganz grosse, in die Augen springende Verschiedenheit.

Reiz- und Intermissionsperioden waren bei den Versuchen wieder durch Stellung des Sectors am rotirenden Schlüssel Fig. 6 abgegrenzt. Je sieben Curven in den Fig. 31, 32 und 33 gehören zu einer Gruppe zusammen und entsprechen den sieben verschiedenen Frequenzen des Interruptors.

Bei dem Versuche am *Hydrophilus* liegen die Abscissen einander näher und wurde derselbe bei langsam bewegten Wagen *W*, Fig. 6, in ununterbrochener Folge der Abscissen angeschrieben.

Bei den Versuchen am *Dyticus* wurde jede Gruppe für sich über dem höchsten Punkt der vorausgegangenen angefangen dadurch, dass der Wagen *W*, Fig. 6, ehe die erste Curve der folgenden Gruppe fiel, mit der Hand passend verschoben wurde, die Abscissen der Curven in den einzelnen Gruppen stehen weiter von einander ab als bei den Versuchen am *Hydrophilus*. Das wurde dadurch erreicht, dass dem Wagen *W*, Fig. 6, seine maximale Geschwindigkeit gegeben wurde. Die beiden zuletzt genannten Anordnungen wurden getroffen, um die Curvenschriften von *Dyticus* nicht zu verwirren.

Um eine Wiederholung der Angaben über einzelne Bedingungen der Versuche Fig. 31, 32 und 33 enthoben zu sein, stelle ich diese Bedingungen in einer Tabelle zusammen. (Siehe die folgende Seite.)

Die Dauer der Erregung betrug in den Versuchen Fig. 31 und 32 im Mittel 1·5 Secunden, die Pause zwischen den Erregungen etwas über eine Minute; in dem Versuch Fig. 33 war die Dauer der Erregung im Mittel zwei Secunden, die Pause etwas über eine Minute.

Nachdem die Curve IX des Versuches Fig. 31 angeschrieben war, wurden noch acht Gruppen von Curven angeschrieben, wie die Gruppen I, II, III und IV. Der Versuch hatte dann über $1^1/_2$ Stunden gedauert, es war nur eine geringe Abnahme der grössten Höhe der einzelnen Curven zu bemerken.

Die Versuche Fig. 32 und 33 am *Dyticus* sind vom Anfange bis zum Ende wieder gegeben.

In Fig. 32 zeigen die Curven der Gruppe I mit jenen der Gruppe II und diese mit jenen der Gruppe III verglichen, ein ganz beträchtliches Absinken der Höhen der einzelnen Curven. In Fig. 33 tritt dieses Absinken, wie ein Vergleich der Curven, die hier in den Gruppen I—V dargestellt sind, ergibt, viel später ein.

Bezeichnung des Versuches	Nummer der Curvengruppe	Nummer der Curve	Am Hebel wirkendes Gew. in Grm.	Abstand der Rollen des Inductorium in Millim.	Nummer der Abstufung d. Reizfrequenz f. d. einzelnen Curven
			Hydrophilus		
Fig. 31. (Taf. VIII)	I.	.	8	60	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
	II.	.	6	„	„
	III.	.	10	„	„
	IV.	.	8	„	„
	.	V.	8	„	1
	.	VI.	6	„	„
	.	VII.	10	„	„
	.	VIII.	6	„	„
	.	IX.	10	„	„
			Dyticus		
Fig. 32. (Taf. VIII)	I.	.	3	120	1. 2, 3, 4, 5, 6, 7
	II.	.	„	„	„
	III.	.	„	„	„
Fig. 33. (Taf. IX)	I.	.	2	„	„
	II.	.	„	„	„
	III.	.	„	„	„
	IV.	.	„	„	„
	V.	.	„	„	„

Der Versuch Fig. 32 wurde an einem vom Hause aus mit grösserer Energie ausgestatteten Präparate angestellt, als der Versuch Fig. 33.

Auf diese Verschiedenheit stösst man bei *Dyticus* oft und leicht. Es wäre aber den Thatsachen nicht entsprechend, wenn man sich darum vorstellen wollte, dass alle Versuche, welche so wie Fig. 32 anfangen, auch so wie Fig. 32 verlaufen müssen und alle die wie Fig. 33 anfangen, auch so verlaufen wie dieser Versuch. Im Gegentheile hier herrschen bei *Dyticus* die allergrössten Verschiedenheiten. Ein anfangs kräftiger Muskel ist oft sehr bald erschöpft und andererseits kann ein anfangs weniger kräftiger Muskel oft sich so lange auf einer gewissen Höhe der Energie erhalten, dass an ihm viel mehr Versuche gelingen, als an dem ersteren. Kurz auch bei den neu angeordneten Versuchen treten am *Dyticus*-Muskel die mannigfachen Abweichungen zu Tage, welche früher bei den langen Tetanis hervorgehoben wurden. Der Versuch Fig. 32 dauerte etwas über 22 Minuten, der Versuch Fig. 33 etwas über 30 Minuten. Die Versuche Fig. 31, 32 und 33 zeigen also in neuer Weise die grosse continuirliche Ausdauer des *Hydrophilus*-Muskels gegenüber dem *Dyticus*-Muskel bei einer analogen Art der Thätigkeit beider. Der *Dyticus*-Muskel zeigt sich auch jetzt viel rascher erschöpft.

Es ist aber den Versuchen auch wieder unmittelbar zu entnehmen, dass der *Dyticus*-Muskel im Anfange durch die grosse Energie seiner raschen Zuckungen ausgezeichnet ist.

Der *Hydrophilus*-Muskel zeigt schon bei der Reizfrequenz Nr. 1 einen klonischen (mit Zacken versehenen), durch Überlagerung von Einzelzuckungen ansteigenden Tetanus, und dieser geht bei Zunahme der Reizfrequenz bis Nr. 7 in einen nahezu glatten Tetanus über.

Beim *Dyticus*-Muskel dagegen findet bis zur Reizfrequenz Nr. 5 wenigstens zwischen den den längeren Intervallen entsprechenden Reizen noch Rückkehr zur Ruhelage oder bis nahe zu derselben statt.

Eine genauere Analyse der *Dyticus*-Curven werden wir gleich später nach Bestimmung der Reizintervalle geben.

Zu bemerken ist, dass die Zacken der Tetani sowohl bei *Hydrophilus* als *Dyticus* ihrer Zahl nach immer übereinstimmen mit der Anzahl der Reize, welche den Muskel getroffen haben, und dass bei Zunahme der Reizfrequenz sowohl bei *Hydrophilus* als bei *Dyticus* die dem kleineren Intervalle zwischen Öffnungs- und

Schliessungsschlage [1] entsprechenden Zuckungen früher mit einander verschmelzen, als die dem grösseren Intervalle zwischen Schliessungsschlage und darauffolgendem Öffnungsschlage entsprechenden Zuckungen. Beide Muskeln geben also ein treues Bild der Frequenz der Reize, die sie treffen.

Was die Höhe der Zuckungen anbelangt, so ist diese, gleiche Reizstärke vorausgesetzt, bei dem mit trägeren Zuckungen antwortenden *Hydrophilus*-Muskel während langer Zeiten nur innerhalb enger Grenzen variabel, der *Dyticus*-Muskel mit seinen, ich möchte sagen explosionsartigen Zuckungen ergibt bei derselben Reizstärke in rasch aufeinanderfolgenden Zeiten an Höhe beträchtlich variirende Zuckungen. Hätte ich nicht stets die Controle der von mir verwendeten Reizapparate durch den so prompt antwortenden *Hydrophilus*-Muskel zur Seite gehabt, so würde mich der *Dyticus*-Muskel zu den grössten Bedenken in Bezug auf die Verlässlichkeit der Apparate veranlasst haben. Wenn man aber beide Muskeln unmittelbar mit einander bei Anwendung derselben Methoden vergleicht, bleibt nur die Annahme möglich, dass die Unregelmässigkeiten, welche am *Dyticus*-Muskel zu Tage treten, während sie am *Hydrophilus*-Muskel fehlen, ihren Grund nicht in dem Zufalle haben, dass die Apparate das eine Mal regelmässig und das andere Mal unregelmässig functionirten, sondern dass der Grund dafür in einer inneren Verschiedenheit beider Muskeln zu suchen ist. Die Versuche Fig. 31 am *Hydrophilus* und Fig. 32 am *Dyticus* sind an frisch eingefangenen Thieren an demselben Tage (6. September 1884) so angestellt, dass Versuch Fig. 32 vorausging, dann folgte Versuch Fig. 31. Der Versuch Fig. 33 ist am folgenden Tage angestellt. Solche Beispiele könnte ich noch viele anführen.

Die Versuche erledigen also nicht nur die Frage, ob der *Hydrophilus*-Muskel bei steigender Reizfrequenz früher in Tetanus verfällt, als der *Dyticus*-Muskel, sie weisen auch noch auf andere Eigenthümlichkeiten beider Muskeln hin.

In Bezug auf die Frage der Entstehung des Tetanus bei *Hydrophilus* und bei *Dyticus* lehren uns aber die Versuche auch noch weitere wichtige Thatsachen.

Der Betrachtung der Curve in Fig. 31 ist zu entnehmen, dass der Muskel von *Hydrophilus* dadurch auf die grösste Höhe des Tetanus emporkommt, dass er schon von niedrigen Reizfrequenzen angefangen, eine mit zunehmender Reizfrequenz in entsprechender Weise wachsende Anzahl von Zuckungserfolgen summirt. Bei dem flinken *Dyticus*-Muskel mit seinen hohen und schnellen Zuckungen verhält sich dies etwas anders. Ehe ich darauf eingehe, möchte ich noch der Erscheinung, welche sich bei Betrachtung der Fig. 33 in sehr auffälliger Weise darstellt, in Fig. 32 aber fast völlig fehlt, einige Bemerkungen widmen.

Es ist die ganz ausserordentliche Höhe der ersten Zuckung, die namentlich in den ersten Curven der Gruppe I der Fig. 33 und ebenso in den meisten Fällen an den ersten Curven der übrigen Gruppen der Fig. 33 ganz unzweideutig hervortritt. Diese Erscheinung ist zwar nicht constant, aber in der überwiegenden Anzahl von Fällen an ganz frisch präparirten Muskeln in den ersten Curven vorhanden, und kann sich dann, wie Fig. 33 zeigt, auch während der fortgesetzten Versuche erhalten, oder sie fehlt, was seltener ist, in den späteren Gruppen. Es kommt aber auch vor, dass die Erscheinung in späteren Gruppen auftritt, während sie anfänglich fehlte. In den 29 Versuchen, welche ich an den Schenkelstreckern und Beugern des *Dyticus* nach Art der Versuche in Fig. 32 und 33 angestellt habe, wurden folgende Verhältnisse bemerkt. Die Erscheinung ist in den Curven der ersten Gruppe vorhanden in 18 Fällen, sie fehlt in den Curven der Gruppe I in 11 Fällen. Sie kehrt wieder in den Curven aller oder einzelner späterer Gruppen in 10 Fällen, sie fehlt — während sie anfänglich vorhanden war — in allen späteren Gruppen in 8 Fällen; sie fehlt sowie anfänglich in allen späteren Gruppen in 7 Fällen; sie tritt in späteren Gruppen auf, während sie anfänglich fehlte in 4 Fällen.

Viel seltener als die hohe Zuckung am Anfange kommt es vor, dass auch noch die zweite Zuckung viel höher ist als die übrigen, etwas erhöht erscheint sie aber im Falle einer sehr hohen ersten Zuckung sehr häufig. Siehe Beispiele in den Curven der verschiedenen Gruppen der Fig. 32 und 33. Am seltensten kommt der Fall vor, dass sich aus der Reihe der Zuckungen eine beliebige durch besondere Höhe heraushebt,

---

[1] Siehe das Folgende.

dagegen ereignet es sich häufiger, dass eine der späteren Zuckungen etwas höher ist, als die anderen. In allen diesen Fällen kann dann ein treppenartiges Ansteigen oder Abfallen der neben der höchsten stehenden Zuckungen beobachtet werden. Auch dafür finden sich Beispiele in unseren Fig. 32 und 33. Ich vermag weder die Ursachen aller dieser Erscheinungen, noch auch den Grund dafür, dass dieselben so inconstant beobachtet werden, anzugeben, nur möge man mit dem Einwande nicht kommen, dass unser Reizapparat an denselben die Schuld trägt.

Es machen sich durch die angeführten Erscheinungen vielmehr nur — wenn auch nicht in so auffallendem Grade — ähnlich mannigfaltige und von einander differirende Bilder geltend, wie wir sie in den Curven länger dauernder Tetani des *Dyticus* im Vergleiche zu ebensolchen beim *Hydrophilus* beobachtet haben.

So wie uns dort die *Hydrophilus*-Versuche als Controle der am *Dyticus* angestellten dienen mussten, so ist das auch für die eben besprochenen Versuche der Fall, die noch überdies durch die schon vorher erwähnten Schriften des elektrischen Signales controlirt sind.

Und nun kehre ich zu der schon früher angeführten Thatsache zurück, dass sich bei *Dyticus* der Tetanus, es gilt das sicher für den ganz frischen Muskel, in etwas anderer Weise aus den Einzelzuckungen zusammensetzt, als der Tetanus des *Hydrophilus*-Muskels.

Ich habe an den für unsere sieben Abstufungen von Reizfrequenzen erhaltenen Schriften mittelst eines Ocularmikrometers von $0{\cdot}032^{mm}$ Werth eines Theilstriches bei Reichert, Objectiv 1 *A*, Ocular 2, die Intervalle zwischen Öffnung und Schliessung J und zwischen Schliessung und darauffolgender Öffnung J' ausgemessen und die Summe beider S, also eine Schwingung verglichen mit dem Werthe, welcher für eine Schwingung resultirt, wenn der ganze Umfang des rotirenden Cylinders $U = 420^{mm}$ durch die Zeit einer Umdrehung $t = 65$ Secunden und durch die, wie früher angegeben, bestimmte Anzahl n der Schwingungen in der Secunde dividirt wurde, dabei ergaben sich für unsere sieben Abstufungen der Frequenz die in dem 2.—5. Stabe der beifolgenden Tabelle enthaltenen Werthe.

Frequenz-abstufung	J in Millim.	J' in Millim.	S in Millim.	$\frac{U}{tn}$	J in Sec.	J' in Sec.
1	0·544	1·658	2·202	2·203	0·083	0·253
2	0·512	1·280	1·792	1·795	0·078	0·195
3	0·480	0·992	1·472	1·468	0·073	0·151
4	0·448	0·717	1·165	1·166	0·068	0·109
5	0·384	0·480	0·864	0·866	0·058	0·073
6	0·320	0·352	0·672	0·676	0·049	0·054
7	0·256	0·288	0·544	0·540	0·039	0·044

Es ist das für unsere Zwecke eine hinlängliche Controle für die auf Grund der mikrometrischen Bestimmung der Intervalle ermittelten Zeitwerthe dieser Intervalle. Diese betragen für unsere sieben Abstufungen die im 6. und 7. Stabe der obigen Tabelle angeführten Werthe.

Vergleichen wir nun mit der alternirend rascheren und weniger raschen Aufeinanderfolge der Reize bei den sieben verschiedenen Frequenzen des Interruptors die im früheren Abschnitte angegebene mittlere Dauer einer Zuckung des frischen Muskels in ihren drei Stadien nämlich:

$$0{\cdot}047 + 0{\cdot}108 + 0{\cdot}242 = 0{\cdot}397 \text{ Secunden für } \textit{Hydrophilus}$$

und

$$0{\cdot}017 + 0{\cdot}055 + 0{\cdot}057 = 0{\cdot}129 \text{ Secunden für } \textit{Dyticus},$$

so finden wir, dass bei *Hydrophilus* eine vorausgehende Zuckung von einer nachfolgenden getroffen wird, im Falle der kurzen Intervalle (J) für die sieben Abstufungen im Stadium der wachsenden Energie oder am Ende des Stadiums der latenten Reizung; im Falle der langen Intervalle (J') für die Abstufung 1 und 2 im Stadium der sinkenden Energie, für die Abstufung 3 nahe dem Gipfel, für die Abstufung 4, 5 und 6 im Stadium der wachsenden Energie und für die Abstufung 7 am Ende des Stadiums der latenten Reizung.

Bei *Dyticus* dagegen wird eine vorausgehende Zuckung von einer nachfolgenden getroffen im Falle der kurzen Intervalle (J) für die Abstufung 1 im Stadium der sinkenden Energie nahe vor Ablauf des ersten Fünftels desselben, für die Abstufungen 2 und 3 im Stadium der sinkenden Energie näher dem Gipfel, für die Abstufungen 4, 5, 6, 7 im Stadium der wachsenden Energie von nahe dem Gipfel bis zur Grenze der ersten und zweiten Hälfte; im Falle der langen Intervalle für die Abstufungen 1, 2 und 3 in keinem Stadium, für die Abstufung 4 im Stadium der sinkenden Energie nahe der Mitte desselben, für die Abstufung 5 nahe dem Gipfel, für die Abstufung 6 und 7 in der zweiten Hälfte des Stadiums der wachsenden Energie.

Die vorausgehenden Betrachtungen können uns nun bei einer weiteren Vergleichung der Curven Fig. 31, 32 und 33 von *Hydrophilus* und *Dyticus* leiten.

In den Curven von *Hydrophilus* sehen wir die Zuckungen sowohl im langen, als im kurzen Intervalle summirt und den ansteigenden Theil der Tetanuscurve aus summirten Zuckungserfolgen gebildet.

In den Curven von *Dyticus* sehen wir bei Curve 1 (Reizfrequenz Nr. 1 entsprechend), dass das kurze Intervall dem Muskel noch nahezu Rückkehr zur Ruhelage gestattet, das lange Intervall gestattet vollkommene Rückkehr zur Ruhelage, ja wegen der elastischen Endschwankungen geht der Muskel noch darüber hinaus.

In den Curven 2 und 3 (entsprechend der Reizfrequenz Nr. 2 und 3) entspricht dem kurzen Intervalle ein Minimum, dem langen Intervalle Rückkehr zur Ruhelage. In den Curven 4 (entsprechend der Reizfrequenz 4) sehen wir ein Minimum entsprechend dem kurzen Intervalle und ein grösseres, aber keine vollständige Rückkehr zur Ruhelage, entsprechend dem grösseren Intervalle. In den Curven 5 (entsprechend der Reizfrequenz 5) entspricht auch dem langen Intervalle nur mehr ein kleines Minimum, es ist aber auch das dem kurzen Intervalle entsprechende Minimum noch deutlich zu erkennen.

Weder die im kurzen noch die im langen Intervalle folgenden Zuckungen erscheinen in diesen Curven summirt. Wir sehen im Anstiege aller dieser Curven von *Dyticus* nur eine Zuckung vorhanden, sowohl bei den Curven der Fig. 33, wo die erste Zuckung besonders hoch erscheint, als auch bei den Curven der Fig. 32, wo das letztere Verhalten nicht beobachtet wird. Im weiteren Verlaufe erscheinen, auch wenn eine Verschmelzung der aufeinander folgenden Zuckungen stattfindet, gleichsam nur die Zuckungsmaxima juxtaponirt und zwischen denselben treten Minima auf, die um so geringere Werthe besitzen, je kleiner das Intervall der sich folgenden Zuckungen ist.

Bei *Hydrophilus* tritt, wenn eine folgende Zuckung die vorausgehende in vorgeschrittenem Stadium der sinkenden Energie trifft, und von da an beim Vorrücken des Einfallens der folgenden Zuckung über alle Stadien der vorausgehenden Zuckung eine Überlagerung der Zuckungen auf und eine beträchtliche Höhe des Tetanus wird beim *Hydrophilus*-Muskel nur durch Summirung von Zuckungserfolgen erreicht, indem bei Steigerung der Reizfrequenz (siehe die Curven 3, 4, 5, 6, 7 der Gruppen I, II, III, IV, Fig. 31) eine immer grössere Anzahl von Zuckungen bis zur grössten Höhe des Tetanus sich übereinander legt.

Beim *Dyticus* ist im Anstiege der Tetanuscurve, auch wenn die Reizfrequenz so gesteigert wird, dass die folgende Zuckung die vorausgehende in einem sehr frühen Stadium ihrer Entwicklung trifft, nur eine hohe Zuckung vorhanden, mit der die folgenden in der früher erwähnten Weise verschmelzen (Curven 4 und 5 der Gruppen I, II, Fig. 32).

Auch in den unseren höchsten Reizfrequenzen entsprechenden Curven 6 und 7 der Gruppen I und II, Fig. 32 und aller Gruppen der Fig. 33 sind in dem rasch ansteigenden Theile der Curve noch keine oder nur einige wenige hohe Zuckungen summirt. Dieses verschiedene Verhalten beider Muskeln scheint aber hauptsächlich die Abweichung in der Form der Tetanuscurven bei ganz frischen Präparaten von *Hydrophilus* und *Dyticus* zu bedingen. Die Curve des *Dyticus*-Muskels steigt viel rascher an, als jene des *Hydrophilus*-Muskels.

Wir haben derselben schon im VI. Abschnitte gedacht und werden auf dieselbe im IX. Abschnitte wieder verweisen (siehe vorläufig Fig. 41, I und II; Taf. X und XI und Fig. 42, I und II, Taf. IX, die erstere kurze Tetani von *Hydrophilus*, die letztere solche von *Dyticus* darstellend).

Diese Verschiedenheit haben für die rothen und weissen Kaninchenmuskeln auch schon Kronecker und Stirling hervorgehoben. Ich habe soeben für einen bestimmten Fall Anlass gehabt, auf den Abschnitt VI

zurückzuverweisen, und der dort behandelten langen, glatten Tetani zu gedenken. Ich glaube, dass Versuche, wie ich sie zuletzt mitgetheilt habe, überhaupt berufen sein werden zu einer Erklärung vieler Erscheinungen des glatten Tetanus hinzuleiten. Freilich müssten sie dann, wie schon angedeutet, mit Wechselströmen, die genau gleich stark und in Bezug auf die Frequenz der feinsten Abstufung fähig wären, angestellt sein.

Trotz des Mangels, der unseren Versuchen in dieser Beziehung anhaftet, und der in den Detailuntersuchungen, zu welchen die an den Käfermuskeln gewonnenen Erfahrungen die Veranlassung geben müssen, jedenfalls vermieden werden müsste, ist denselben doch schon eine Reihe von Thatsachen zu entnehmen, von welchen einige hier angeführt werden sollen. In Fig. 32, III, Taf. VIII treten, nachdem schon die Curven 6 und 7 der vorausgehenden Gruppe II derselben Figur eine etwas abweichende Form zeigen, bei *Dyticus* Bilder von klonischem Tetanus auf, die zwar noch immer von den betreffenden Bildern des *Hydrophilus*-Muskels sehr verschieden sind, aber doch eine unverkennbare Ähnlichkeit mit denselben besitzen.

Ganz ersichtlich ist diese Ähnlichkeit dadurch bedingt, dass nun auch in der Curve des *Dyticus*-Muskels eine beträchtliche Höhe des Tetanus durch Superposition einer grösseren Anzahl von Zuckungen erreicht wird (Fig. 32, III, fünfte, sechste und siebente Curve).

Diese Erscheinung tritt bei dem *Dyticus*-Muskel immer nur auf, wenn er durch vorausgehende Leistungen bis zu einem gewissen Grade von Erschöpfung gebracht wurde.

Nicht immer äussert sich aber die Erschöpfung des Muskels in dieser Weise. Man vergleiche nur Fig. 33, bei welchem Versuche sie sich in ganz anderer Weise geltend macht.

Was kann nun der Grund dieser Verschiedenheiten sein?

Diese Frage kann zwar nicht völlig beantwortet werden, aber es muss darauf hingewiesen werden, dass sich die Folgen vorausgegangener Leistungen an den Einzelzuckungen des Muskels in einer zweifachen Weise kundgeben. Erstens in einer Erniedrigung und zweitens in einer Dehnung der Zuckung. Diese beiden Veränderungen der Einzelzuckungen laufen aber beim *Dyticus*-Muskel nicht immer einander parallel in derselben Weise ab. Einmal fällt die Erniedrigung der Zuckung weit mehr auf, als die Dehnung, während ein anderes Mal die Dehnung ganz besonders hervortritt.

Welche Momente auf den zeitlichen Ablauf dieser Veränderungen einen Einfluss ausüben, konnte ich nicht ermitteln. Für gewöhnlich überwiegt im Anfange einer Zuckungsreihe des vorher angestrengten Muskels die Veränderung der Zuckungshöhe, während am Ende die Veränderung der Zuckungsdauer überwiegt.

Ich verweise in dieser Beziehung auf Fig. 34 (*1* und 2), Taf. IX, darstellend zwei unmittelbar nach einander angeschriebene Zuckungsreihen (Reizfrequenzabstufung Nr. 1) von einem *Dyticus*-Muskel, an dem vorher vier Gruppen von Curven nach Art der in den Fig. 32 und 33 enthaltenen angeschrieben worden waren.

Abgesehen von dem Anfange der Zuckungsreihe, in welcher anfänglich ein Ansteigen der Zuckungen zu einigen besonders hohen vorkommt, zeigt sich im ferneren Verlaufe zunächst als auffallende Erscheinung die Erniedrigung der Zuckung, und das dauert bis an das Ende von 1 und in den Anfang von 2 und bis etwa an die Grenze des ersten und zweiten Drittels von 2 fort, von da an macht sich aber eine auffallende Dehnung der Zuckungen geltend.

Es tritt nun manchmal der Zeitpunkt, wo auch die Dehnung der Zuckung eine beträchtliche wird, bei gewissen Versuchen am *Dyticus*-Muskel viel früher ein, als das bei anderen Versuchen an denselben Muskeln der Fall ist.

Ein solcher Fall liegt in Fig. 32, III, Taf. VIII vor. Von den niedrigen und gedehnten Zuckungen werden aber dann bei zunehmender Reizfrequenz eine grössere Anzahl im ansteigenden Theile der Curve summirt, als von den hohen und raschen Zuckungen. Daher die Ähnlichkeit solcher Curven von *Dyticus* mit jenen von *Hydrophilus*.

Unter den im Abschnitte VI mitgetheilten Curven langer Tetani von *Dyticus* finden sich viele von in Erschöpfung begriffenen Muskeln angezeichnete Curven, welche ganz allmälig ansteigend, schliesslich eine beträchtliche Höhe erreichen (Fig. 23, 24, 25, 26, 27) und die wahrscheinlich ihre Erklärung in derselben Weise finden wie die Curven der Fig. 32, III.

Es lägen nun in den Fig. 31, 32 und 33 noch viele Bilder vor, an welche sich Betrachtungen über die Entstehung des Tetanus, namentlich mit Rücksicht auf eine Reihe von Angaben, die von verschiedenen Seiten darüber gemacht wurden, anknüpfen liessen.

Allein die Mannigfaltigkeit der Bilder lehrt uns auch, dass solche Anschauungen meist nur auf Grund ganz specieller Fälle, die sich vorfinden können, aber nicht vorhanden sein müssen, gebildet wurden, und dass wir von einer befriedigenden Kenntniss des Tetanus noch weit entfernt sind.

Man wird mir darum nicht übel nehmen, wenn ich einige beim Anblicke der Fig. 31, 32 und 33 ziemlich nahe liegende Discussionen noch auf später verschiebe, wo noch andere auf ganz bestimmte Fragen gerichtete Versuchsreihen vorliegen werden.

Bemerken muss ich aber, dass trotz aller Mannigfaltigkeit der Bilder der Fig. 31, 32 und 33 in denselben doch noch weit einfachere Verhältnisse ihren Ausdruck zu finden scheinen, als sie in den Muskeln anderer Versuchsthiere vorliegen. Ich habe, um nur darauf hinzuweisen, in Fig. 35, Taf. VIII und 36, Taf. IX zwei aus einer Versuchsreihe stammende Bilder klonischer Tetani des Gastrocnemius vom Frosche darstellen lassen. Fig. 35 gehört einem Versuche an, der am 8. Juli 1885, Fig. 36 einem Versuche, der am 7. Juli 1885 angestellt wurde. Bei dem ersteren Versuche war der Muskel mit 10 Grm., bei dem letzteren mit 15 Grm. belastet.

Die Reizfrequenz entsprach für die einzelnen Curven in jeder Gruppe unseren erwähnten sieben Abstufungen.

Die Bilder gemahnen in ihrem Anfange, wie ich fast sagen möchte, an den *Dyticiden-*, in ihrem Ende an den *Hydrophiliden*-Muskel; ob darin ein Hinweis auf die von Grützner behauptete, zusammengesetzte Natur der Froschmuskeln erblickt werden kann, müssten erst genauere Versuche lehren.

Wir sind nun über den Rahmen, in welchem ich die Untersuchungen an den Käfermuskeln eigentlich halten wollte, mehrfach hinausgeführt worden. Den Anlass dazu haben vorzugsweise die Erscheinungen der zuletzt angeführten klonischen Tetani gegeben, in welchen sich die Verschiedenheit des *Dyticus-* und *Hydrophilus*-Muskels in so prägnanter Weise ausdrückt.

Gerade diese Tetani legen uns aber auch noch andere Aufgaben nahe, die ich hier jedoch nur vorläufig skizziren kann.

Meine Untersuchungen an Coleopteren-Muskeln drängten aus mehr als einem Grunde zu einem einstweiligen Abschlusse und ich konnte aus Mangel an Zeit, an Materiale und passenden Apparaten manche angefangene Versuchsreihe noch nicht zum Abschlusse bringen. Einiges möchte ich aber schon jetzt darüber mittheilen.

Durch Versuche von Kronecker und Hall[1] und von Sewall[2] ist nachgewiesen worden, dass die Summirung zweier sich innerhalb des Intervalles der ersten Zuckung folgender Zuckungen nicht immer der einfachen Superpositionsregel von Helmholtz folgt. Man muss ferner annehmen, dass beim Tetanus die Summirung der Zuckungen nur eine begrenzte ist und nicht mehr oder nach anderen Gesetzen als anfänglich erfolgt, wenn der Muskel das tetanische Verkürzungsmaximum erreicht hat, oder sich demselben asymptotisch annähert.

Alle diese Erscheinungen, nämlich die Summirung von Zuckungen bis zur maximalen Höhe des Tetanus und die Erhaltung dieser letzteren und ebenso die häufig zu beobachtende Erscheinung von mehreren Wendepunkten in der tetanischen Curve weisen auf äusserst complicirte Vorgänge im Muskel hin. Diesen müsste man offenbar viel näher zu kommen suchen, wenn eine Auflösung der tetanischen Curve nach mechanischen Principien, wie sie v. Frey[3] jüngst in Angriff zu nehmen suchte, in befriedigender Weise gelingen soll.

Unter möglichst einfachen Bedingungen erhaltene regelmässige klonische Tetani bei niederen Reizfrequenzen, wie man sie von *Hydrophilus-* und *Dyticus*-Muskeln bekommen kann, scheinen mir aber für die Behandlung dieses Problemes einige Bedeutung zu besitzen.

---

[1] Kronecker und Hall, Archiv f. Anat. u. Physiologie. Jahr 1879. Physiol. Abth., S. 11.

[2] Sewall, The journal of physiology, Vol. II, 1879—80, p. 164.

[3] Beiträge zur Physiologie. Carl Ludwig zu seinem siebenzigsten Geburtstage gewidmet. Leipzig 1887, S. 55.

Die Curven Fig. 30 (9), Taf. VIII, Fig. 31, Taf. VIII, Fig. 32, Taf. VIII und 33, Taf. IX und Fig. 37 I und II, Taf. VIII und Fig. 38 I, II und III, Taf. VIII. welche letztere bei geringen Reizstärken und Reizfrequenzen erhaltene Tetani von *Hydrophilus* darstellen, kann man ebensogut als unvollkommen gebildete Tetani, wie auch als partiell noch in die zusammensetzenden Einzelzuckungen aufgelöste Tetani betrachten. Sie eignen sich aber als solche sehr gut zu einer, wie ich sofort betonen muss, vorerst rein graphischen Zerlegung.

Eine solche graphische Zerlegung eines klonischen Tetanus kann man sich zunächst realisirt denken durch die Schlusslinien, die man erhalten würde, wenn man sich nach jeder einzelnen der den Tetanus zusammensetzenden Zuckungen die Erregung des Muskels beendigt vorstellen würde.

Vergleiche Fig. 39 I, 1—10, Taf. IX und die entsprechenden Linien in Fig. 40 I, 1—9, II, 1—25 und III, 1—25, Taf. IX. Die Fig. 39, I ist in Bezug auf die vom Myographionhebel gezeichneten Theile eine durch Pausen erhaltene Copie des klonischen Tetanus Fig. 30 (9), Taf. VIII. Fig. 40, I und II stellen zerlegte Tetani von *Hydrophilus*, entsprechend etwa den Tetanis Fig. 31, I, (1 und 5), Taf. VIII im vergrösserten Massstabe dar und ebenso Fig. 40, III einen zerlegten Tetanus von *Dyticus* etwa entsprechend dem Tetanus Fig. 32, I (5), Taf. VIII.

Ist die Höhe der Einzelzuckungen bekannt, dann ist auch für die einzelne Zuckung der Werth der Überlagerungsordinate zu bestimmen, der, wie Versuche ergeben, grösser, gleich (Helmholtz'sche Regel) oder kleiner als der Werth sein kann, welchen die Ordinate der vorausgehenden Zuckung im Beginne der nachfolgenden besitzt, der endlich auch gleich 0 sein kann.

Gelänge es im gegebenen Falle eine mechanische Definition für die Überlagerungsordinate zu gewinnen, so wäre damit ein wichtiger Fortschritt in der Erklärung des Tetanus aus den variablen Bedingungen desselben: Höhe, Dauer, Frequenz und Summirung der Einzelzuckungen gegeben.

In der graphischen Zerlegung, die, von den erwähnten klonischen Tetanis ausgehend, auch auf glatte Tetani bei höheren Reizfrequenzen angewendet werden kann, und die umgekehrt für die Lösung bestimmter Fragen auch ein constructives Verfahren ermöglichen wird, muss ein wichtiges Hilfsmittel für die Untersuchungen über den Tetanus erblickt werden.

Beispielsweise möchte ich zum Schlusse nur die Curven Fig. 39, I, Taf. IX (i. c. Tetanus Fig. 30 [9]), Taf. VIII und Fig. 40, III, Taf. IX aus dem Gesichtspunkte der rein graphischen Zerlegung noch näher besprechen.

In dem Tetanus Fig. 39 sind abwechselnd die Einzelzuckungen Fig. 39, II und Fig. 39, III enthalten, und zwar entsprechen die Gipfel 1, 3, 5, 7, 9 der Zuckungscurve II (Fig. 39), die Gipfel 2, 4, 6, 8, 10 der Zuckungscurve III (Fig. 39). Man findet nun im Tetanus Fig. 39, I der Zuckung 1 die Zuckung 2 überlagert ungefähr nach der Helmholtz'schen Regel (Fig. 39, Überlagerungsordinate oy^2), die Zuckung 3 ist der Zuckung 2 überlagert, aber um viel weniger, als nach der Helmholtz'schen Regel gefordert würde (Überlagerungsordinate oy^1); die Zuckung 4 ist der Zuckung 3 wieder um vielmehr überlagert (Ordinate oy^3), wogegen die Zuckung 5 wieder beträchtlich tiefer steht (Ordinate oy); im weiteren Verlaufe findet eine Juxtaposition der Zuckungsmaxima 5, 7 und 9 über der Ordinate oy und der Zuckungsmaxima 4, 6, 8, 10 über der Ordinate oy^3 statt. Ähnliche merkwürdige Erscheinungen ergeben Zerlegungen der Curven Fig. 31, I (1), II (1), III (1), IV (1), V, VI, VII, VIII, IX, Taf. VIII.

Tetani von *Dyticus* von der Form, wie sie Fig. 40, III, Taf. IX darstellt, lassen sich als durch blosse Juxtaposition der Zuckungsmaxima entstandene auffassen.

Es könnte zweifelhaft erscheinen, ob man hier überhaupt noch von einem Tetanus sprechen könne.

Kronecker und Stirling,[1] welche Curven ähnlicher Natur bei den weissen Kaninchenmuskeln beobachteten und hervorhoben, dass dabei die Maxima der resultirenden Curve nicht wesentlich über das erste Maximum der einfachen Zuckung sich erheben, knüpfen daran die Bemerkung, dass sich daraus ergebe, dass unter Umständen intermittirend gereizte Gliedermuskeln ganz ähnlich sich verhalten, wie mit schnell folgenden

[1] Archiv f. Anat. u. Physiologie. 1878. Physiol. Abth., S. 10—13, Fig. 7 u. 8.

Stromstössen erregte Froschventrikel, von welchen sie nachgewiesen hätten, dass sie in wirklichen Tetanus nicht versetzt werden können. Ich glaube aber doch, dass eine Verschmelzung der Einzelzuckungen, wie sie durch Fig. 40, III, Taf. IX repräsentirt wird, ein klonischer Tetanus genannt werden solle.

Die aufeinanderfolgenden Zuckungsantriebe machen zwar nicht, dass sich der Muskel dauernd auf der maximalen Höhe der ersten Zuckung erhalten kann, aber sie verhindern, dass der Muskel sich über eine gewisse Grenze hinaus wieder verlängert und erzeugen noch überdies je ein neues Maximum der Verkürzung. Der Muskel wird also gleichsam auf einem bestimmten Grade der Verkürzung, den Minimis der Curve entsprechend, dauernd gehalten und setzt diesem dauernden Verkürzungszustande nur periodisch die Maxima der Verkürzung auf. Einen solchen Vorgang kann man, so lange die Tetani klonisch, d. i. mit Zacken verlaufen, auf der Höhe des Tetanus bei allen Muskeln beobachten, auch wenn im ansteigenden Theile schon eine ganze Anzahl von Zuckungen sich summirten. Was also im ersteren Falle schon nach der ersten Zuckung, das tritt in den anderen Fällen erst nach einer Anzahl von Zuckungssummirungen in die Erscheinung.

Eine reine Juxtaposition der Zuckungsmaxima auf der Höhe des Tetanus kommt aber weder bei dem einen noch bei dem anderen Falle ganz constant zur Beobachtung.

Die Zacken stehen nur in einzelnen Fällen in gerader Linie parallel über der Abscissenaxe, in anderen Fällen liegen sie in einer leicht ansteigenden oder abfallenden Linie, Erscheinungen, deren Ursachen einzeln ermittelt werden müssten, für welche aber in unseren Curven viele Beispiele zu finden sind.

IX. Kurze, glatte Tetani in längeren Intervallen bei Hydrophilus und Dyticus.

Indem wir nun wieder zu den rein vergleichenden Versuchen an den Käfermuskeln zurückkehren, wollen wir noch Versuche an *Hydrophilus-* und *Dyticus-*Muskeln kennen lernen, welche, was Reiz- und Intermissionsperioden betrifft, mit den in dem früheren Abschnitte mitgetheilten Versuchen über unvollkommenen Tetanus übereinstimmen, aber bei einer Reizfrequenz von 54 in der Secunde angestellt wurden. Sie lehren in neuer Form die charakteristische Verschiedenheit der beiden Muskelarten und dienen so wesentlich zur Ergänzung der im Abschnitte VI vorgebrachten Thatsachen. Es sind kurze, im Mittel $1^1/_2$ Secunden währende Tetani, die in Pausen von etwas über eine Minute wiederholt werden.

Fig. 41, I und II (Taf. X und XI) stellt einen Versuch an den Schenkelbeugern eines *Hydrophilus* dar. Der Rollenabstand betrug während des ganzen Versuches 60^{mm}. Bei den ersten 15 Tetani wirkten 2 Grm., bei allen übrigen Tetani 8 Grm. am Hebel. Der erste Theil des Versuches (Fig. 41, I) dauerte 1 Stunde 35 Minuten. Darauf blieb das Präparat, ohne dass irgend etwas nach dem letzten Tetanus an demselben geändert wurde, durch 50 Minuten sich selbst überlassen, aber sorgfältig vor Vertrocknung geschützt liegen, bis der zweite Theil des Versuches (Fig. 41, II, Taf. XI) folgte, der eine Zeit von 1 Stunde 40 Minuten in Anspruch nahm. Als der Versuch mit dem letzten Tetanus der Fig. 41, II, Taf. XI beendet wurde, waren also vom Anfange des ganzen Versuches an $1^h\,35^m + 50^m + 1^h\,40^m = 4^h\,5^m$ verflossen.

Der Versuch zeigt, wie alle analogen Versuche an den *Hydrophilus*-Muskeln wieder die grosse Ausdauer der *Hydrophilus*-Muskeln im Tetanus. Die Höhe der Tetani nimmt ganz allmälig ab. Auffallend bei dem mitgetheilten Versuche ist, dass die erste Tetanuscurve nach der 50 Minuten währenden Unterbrechung niedriger ist als die letzte Curve vor der Unterbrechung. Es weist das darauf hin, dass die Erregbarkeit des Präparates während des ruhigen Liegens sank.

Trotz angestrengter Thätigkeit wird aber der *Hydrophilus*-Muskel nur ganz allmälig erschöpft.

Ein anderes Verhalten zeigt bei analogen Versuchen der *Dyticus*-Muskel, der bei ähnlich fortgesetzter Thätigkeit in verhältnissmässig kurzer Zeit erschöpft wird.

Aus der Reihe der Versuche an *Dyticus*-Muskeln will ich aber hier einen auswählen, der die Eigenschaften des *Dyticus*-Muskels in ganz auffallender Weise darlegt.

Fig. 42, I, Taf. IX, ist ein Versuch an dem Schenkelstrecker von *Dyticus*, bei welchem die Reizfrequenz 54 in der Secunde, der Rollenabstand 120^{mm} betrug. Es sind die Tetani in den früher angeführten Pausen, und

zwar je zwei aufeinanderfolgende immer bei demselben am Hebel wirkenden Gewichte angeschrieben, und zwar die Curven 1 und 2 bei 2 Grm.; 3 und 4 bei 3 Grm.; 5 und 6 bei 4 Grm.; 7 und 8 bei 5 Grm.; 9 und 10 bei 6 Grm.; 11 und 12 bei 5 Grm.; 13 und 14 bei 4 Grm.; 15 und 16 bei 3 Grm.; 17 und 18 bei 2 Grm.

Nachdem diese Tetani, welche gegen 20 Minuten Zeit in Anspruch nahmen, beendigt waren, wurden lange Tetani nach Analogie der im Abschnitte VI mitgetheilten, also 18 Secunden andauernd, in Pausen von 46 Secunden sich folgend, hervorgerufen, und zwar folgten acht solche Tetani aufeinander, welche ein Bild ergaben, analog dem der Fig. 27, X, Taf. VII, und $9^1/_2$ Minuten in Anspruch nahmen.

Nachdem der Muskel so in einen Zustand grosser Erschöpfung gebracht worden war, folgte der Versuch Fig. 42, II (Taf. IX), also wieder kurze Tetani in längeren Pausen, wie im ersten Theile des Versuches; bei den ersten neun Tetani der Fig. 42, II wurde das Gewicht von 2 Grm. belassen, dann folgen sechs Tetani bei $1^1/_2$ Grm. am Hebel wirkendem Gewichte, dann drei Tetani bei 2 Grm. und endlich zwei Tetani bei 3 Grm. Der Rollenabstand betrug bei Versuch Fig 42, II, 60^{mm}.

Es zeigt sich nun, dass sich der *Dyticus*-Muskel von den Folgen der langen Tetani, während er in längeren Pausen kurze Tetani auszuführen hat, wieder erholt, denn die Höhe der bei derselben Belastung ausgeführten Tetani nimmt von 1—6 (Fig. 42, II) zu und bleibt dann bei den Tetani 7—9 nahezu dieselbe; die folgenden Tetani 10—15 (Fig. 42, II), bei etwas geringerer Belastung, zeigen successive immer geringere Höhe; ähnlich sinkt die Höhe von 16—18 (Fig. 42, II) und von 19—20 (Fig. 42, II), von welchen die ersten drei wieder bei derselben Belastung wie 1—9, die letzten zwei bei etwas höherer Belastung erhalten wurden. Der letzte Theil des Versuches (Fig. 42, II) nahm über 20 Minuten, also der ganze Versuch (Fig. 42) nahe an 50 Minuten in Anspruch.

Schon der erste Theil des Versuches (Fig. 42, I) zeigt durch die beträchtliche Abnahme der Höhe der Tetani, die gleichen Belastungen entsprachen, die viel geringere Ausdauer des *Dyticus*-Muskels im Vergleiche mit dem *Hydrophilus*-Muskel. Der zweite Theil des Versuches zeigt, dass der *Dyticus*-Muskel die Fähigkeit besitzt, aus einer durch beanspruchte erhöhte Leistung gesetzten raschen Erschöpfung unter geeigneten Umständen sich bis zu einem gewissen Grade wieder zu erholen, selbst wenn ihm während dieser Zeit geringere Leistungen in längeren Perioden auferlegt werden, deren regelmässige Fortsetzung ihrerseits wieder ein verhältnissmässig langsameres, aber noch immer im Vergleiche mit dem *Hydrophilus*-Muskel um sehr viel rascheres Sinken der Leistungsfähigkeit zur Folge hat. Bei Vergleichung der Versuche Fig. 41 und Fig. 42 tritt die Verschiedenheit der Form der Tetanuscurven von *Hydrophilus* und *Dyticus* hervor, die wir schon früher berührt haben.

Es ist mir vorerst nur gelungen, die physiologische Verschiedenheit der abweichend gebauten Skeletmuskeln von *Hydrophilus* und *Dyticus* in groben Umrissen hinzustellen. Jede von diesen beiden Muskelarten würde jetzt ihre weitere ausführliche Bearbeitung verlangen, und es wird sich zeigen, nach welcher Richtung hin dieselbe zunächst mit Nutzen erstreckt werden kann.

In Bezug auf die vergleichend physiologische Untersuchung der *Hydrophilus*- und *Dyticus*-Muskeln, welche ich eigentlich anstrebte, möchte ich bemerken, dass sie mir ebenso als Gewähr für die Nützlichkeit, wie auch als Fingerzeig für die weitere Verfolgung meiner noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen über den feineren Bau der verschiedenartigen quergestreiften Muskeln der Coleopteren und anderen Insecten von Wichtigkeit erschien.

Ich habe in der vorliegenden Abhandlung mit Ausnahme der in dem siebenten Abschnitte mitgetheilten Einzelzuckungen Versuche an anderen Käfern als an *Hydrophilus* und *Dyticus* nicht mitgetheilt, obwohl ich Versuche über glatten und klonischen Tetanus nach Art des Mitgetheilten auch an *Cybisteter Roeseli*, *Lucanus cervus*, *Melolontha vulgaris*, *Scarabaeus laticollis*, *Procerus gigas* und *Procrustes coriaceus* angestellt habe. Mit Ausnahme von *Cybisteter Roeseli*, dessen Muskeln ganz wie jene von *Dyticus* sich verhalten, zeigen die Muskeln aller anderen Käfer sich als Muskeln von grösserer Ausdauer im Tetanus ähnlich, aber doch nicht in allen Beziehungen gleich jenen von *Hydrophilus*.

Indem ich das anführe, muss ich auch noch darauf zurückkommen, warum ich in den vorliegenden Studien, obwohl ich nur die Schenkelstrecker und Schenkelbeuger des letzten Beinpaares von *Hydrophilus* und *Dyticus* untersucht habe, doch kurzweg die Muskeln von *Dyticus* und *Hydrophilus* einander gegenübergestellt habe. Das hat seinen Grund darin, dass, wie ich schon an einer früheren Stelle anführte, die Schenkelstrecker und Schenkelbeuger von *Dyticus* einerseits und die Schenkelstrecker und Schenkelbeuger von *Hydrophilus* andererseits in Bezug auf ihren Bau völlig mit einander übereinstimmen.

Ich habe zahlreiche Präparate, und zwar Isolirungs- und Schnittpräparate von den functionell verschiedenen Muskeln beider Käfer angefertigt, um mich dieser Thatsache besonders zu vergewissern.

Durch ähnliche Untersuchungen an allen übrigen Skeletmuskeln kann man sich aber auch überzeugen, dass alle Skeletmuskeln des *Dyticus* einerseits und alle Skeletmuskeln der *Hydrophilus* andererseits ganz denselben übereinstimmenden Bau besitzen, wodurch es im höchsten Grade wahrscheinlich wird, dass eben, sowie den zwei functionell verschiedenen Muskeln am Schenkel des *Dyticus*, so auch allen anderen *Dyticus*-Muskeln die gleichen physiologischen Eigenschaften zukommen und dass ganz derselbe Fall andererseits für den *Hydrophilus* vorliegt.

Ähnliches wie für *Hydrophilus* und *Dyticus* lässt sich für alle jene Thiere vermuthen, deren Skeletmuskeln einen übereinstimmenden Bau zeigen. Das ist aber nicht bei allen Käfern der Fall. Viele derselben zeigen Muskeln von verschiedenem Baue dicht nebeneinander oder untereinander gemischt.[1]

Als die vorliegende Abhandlung fast bis zu Ende niedergeschrieben war, erhielt ich durch die Güte meines hochgeehrten Collegen Grützner[2] eine Mittheilung: „Zur Muskelphysiologie“ übersendet, welche zwar auf wesentlich andere Versuche hin, als ich sie an den Käfermuskeln anstellen konnte, physiologische Unterschiede zwischen den rasch und träge zuckenden Muskelfasern von Wirbelthieren aufstellt, die aber in wesentlichen Punkten sich mit den aus den Versuchen an den Käfermuskeln gefolgerten berühren.

---

[1] Vergleiche meine Abhandlung: Untersuchungen über den Bau der quergestreiften Muskelfasern. II. Theil. Diese Denkschriften.

[2] Separatabdruck aus der Breslauer ärztlichen Zeitschrift, Nr. 1, 15. Jänner 1887.

Fig. 1.

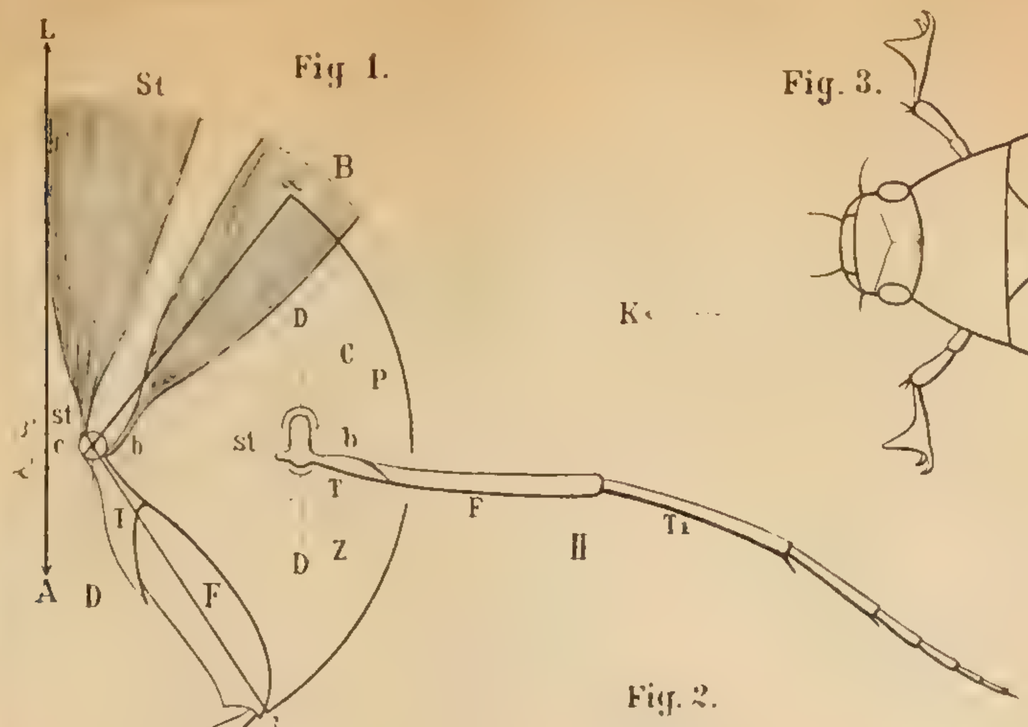


Fig. 3.

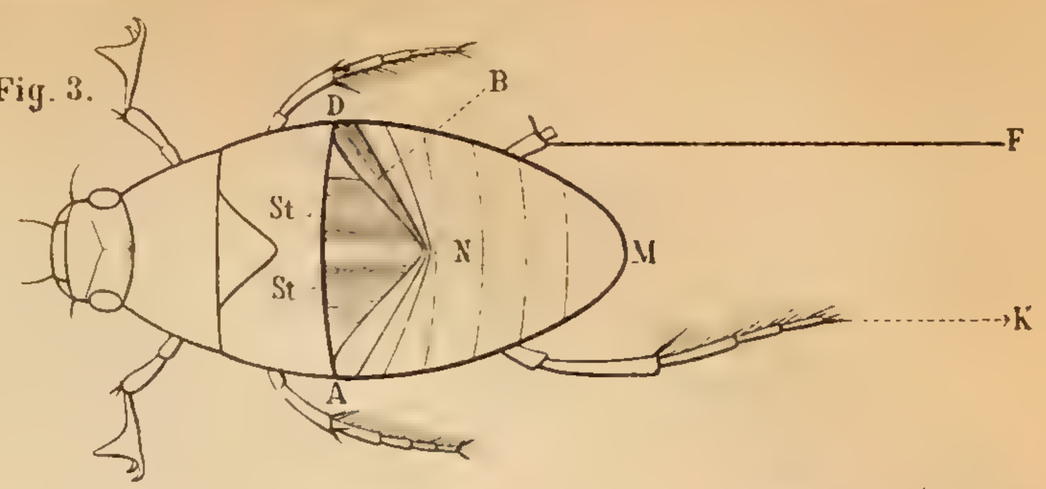


Fig. 2.

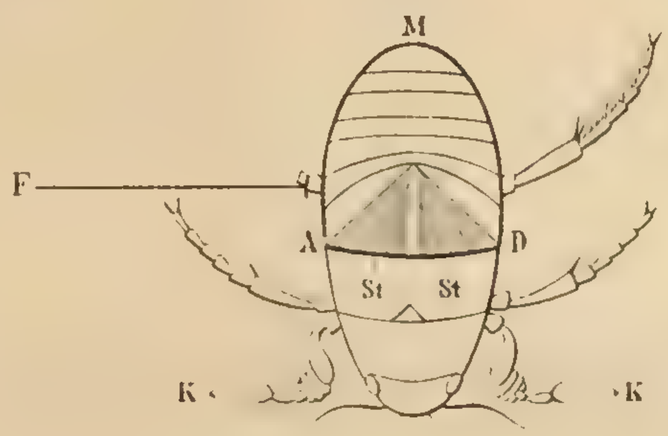


Fig. 4.

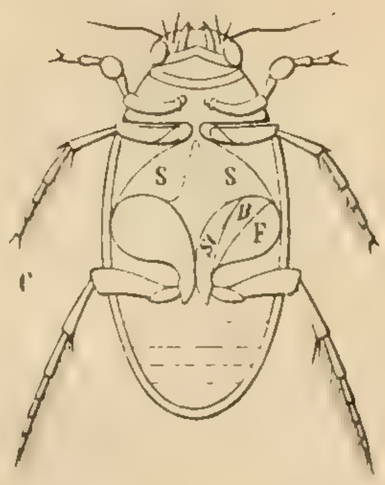


Fig 5

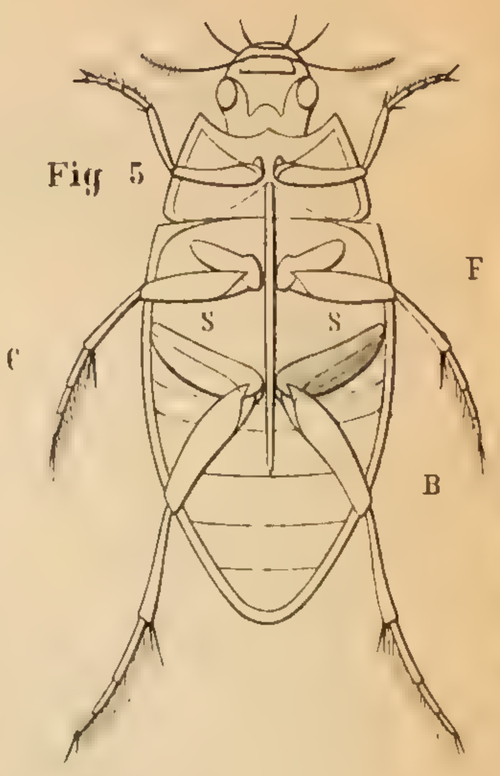


Fig. 6.

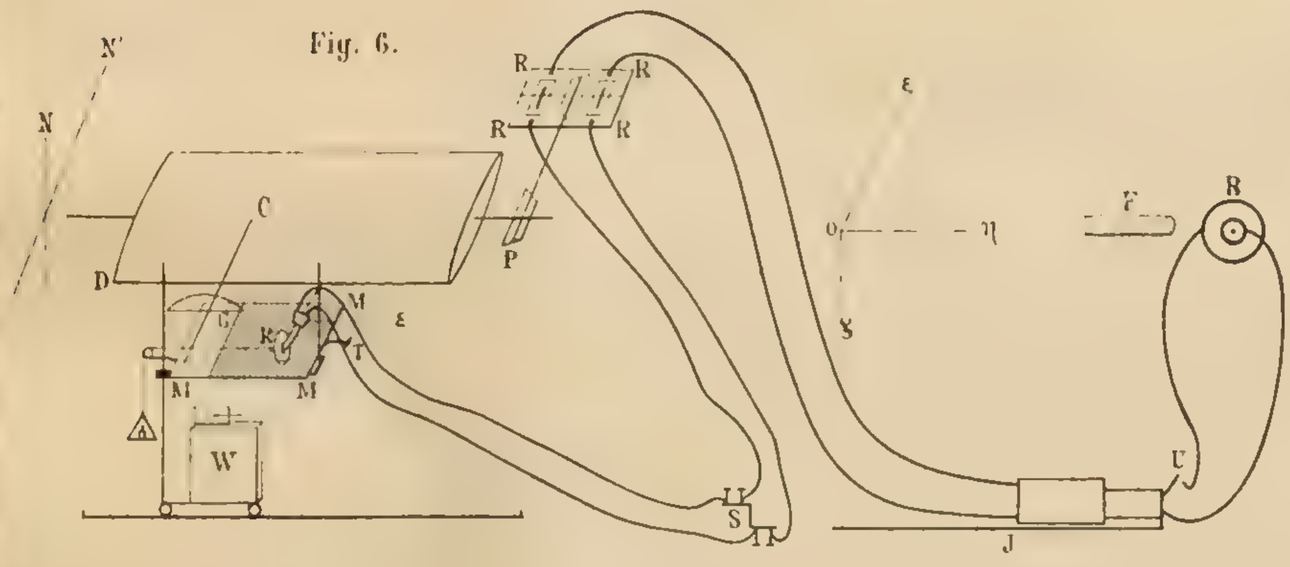


Fig. 10.

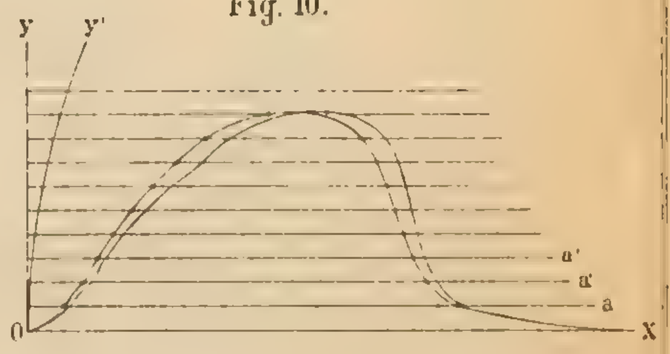


Fig. 8.

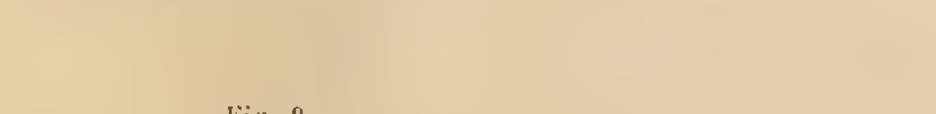


Fig. 9.

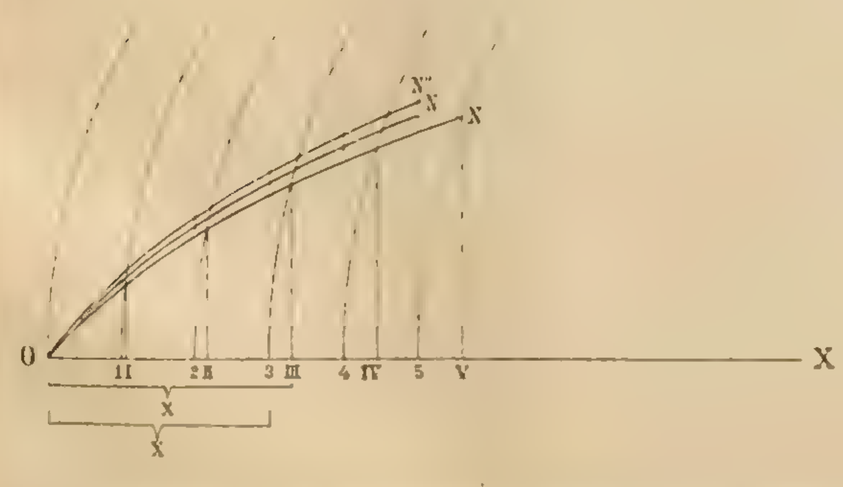
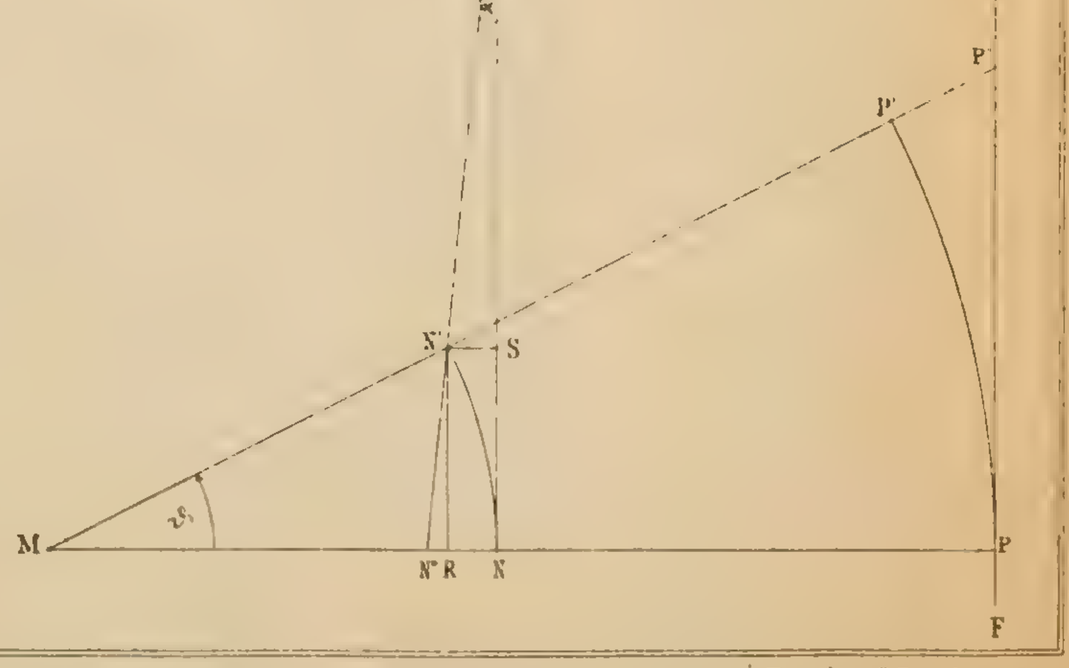


Fig. 7.



Phototith v J Barth in Wien. Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math. naturw. Classe LIII. Bd. I. Abth. Druck v J Barth in Wien.

Fig. 12.

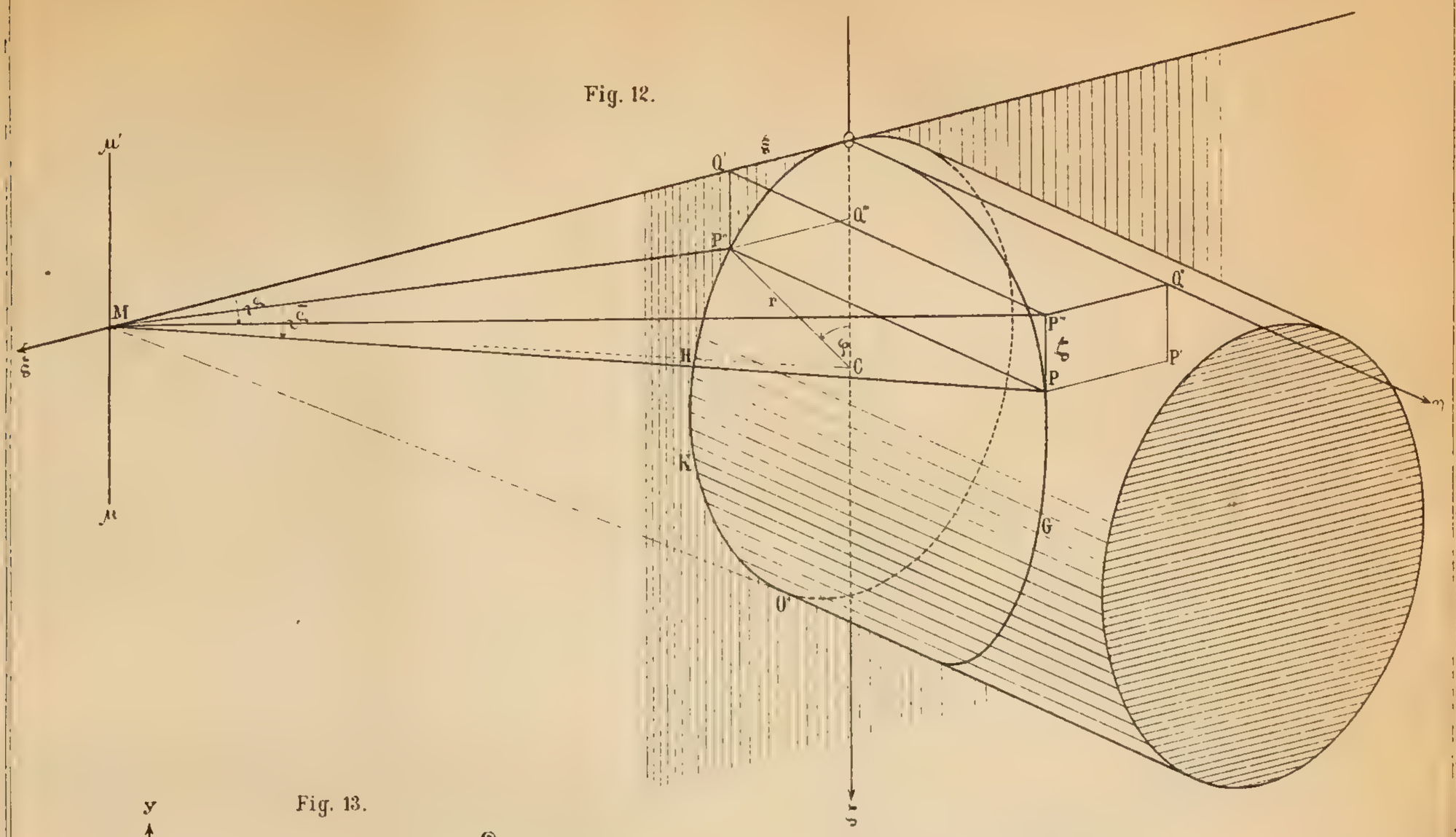
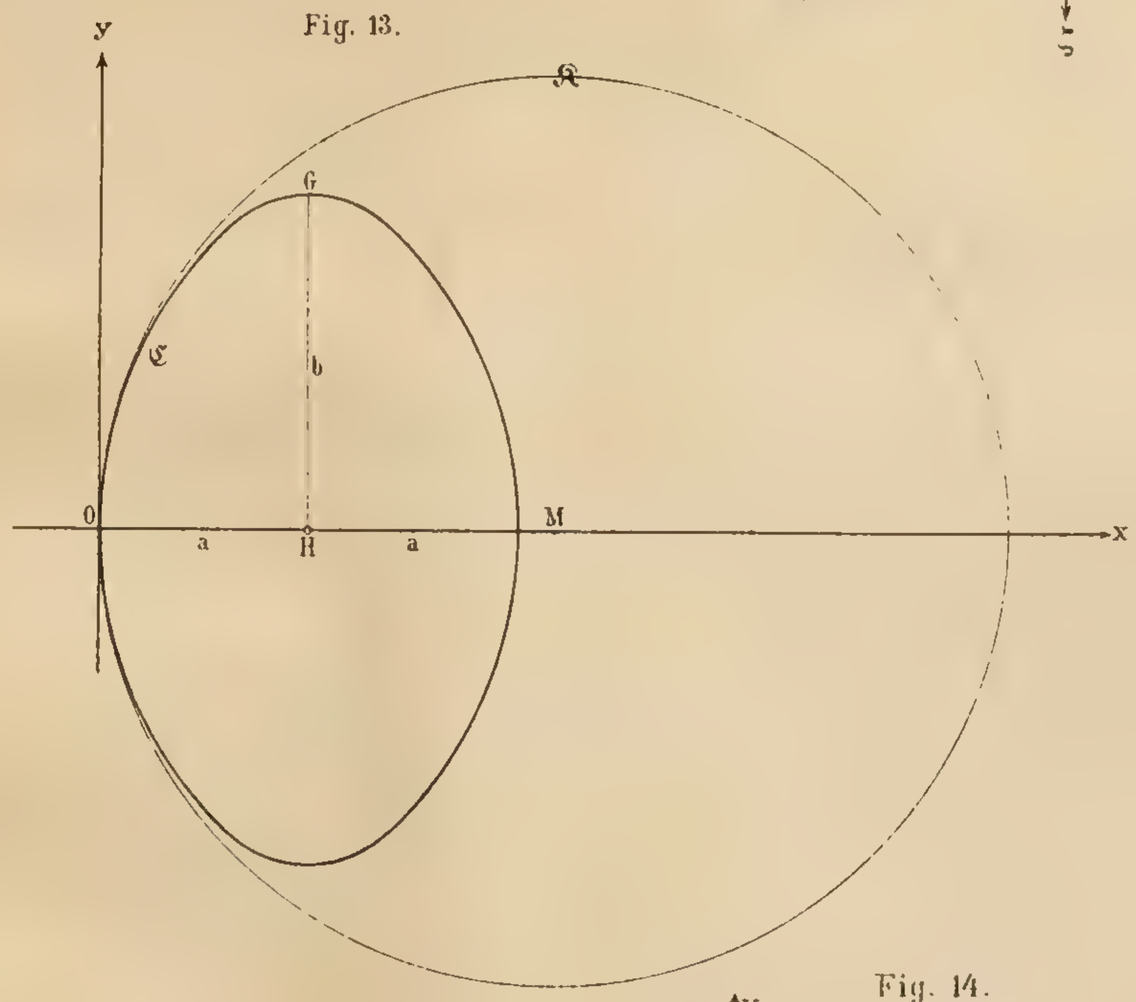


Fig. 13.



$\frac{l}{r} = 2 \cdot 5$

Fig. 11.

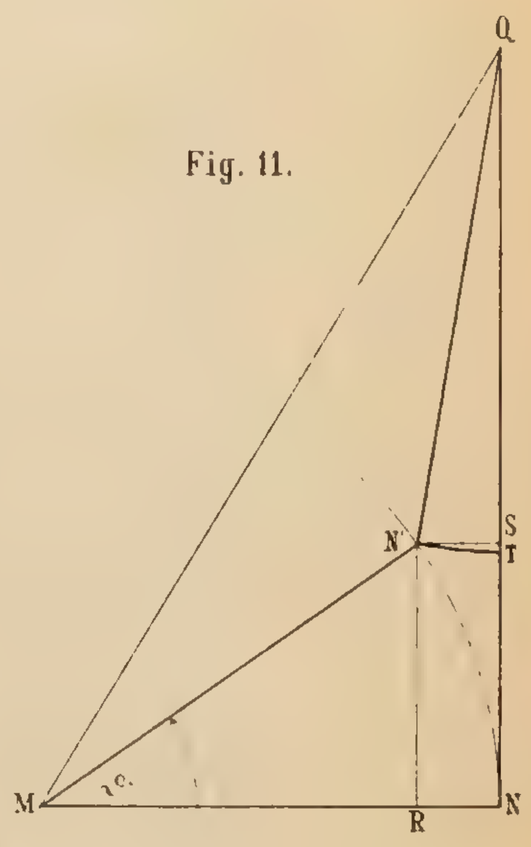
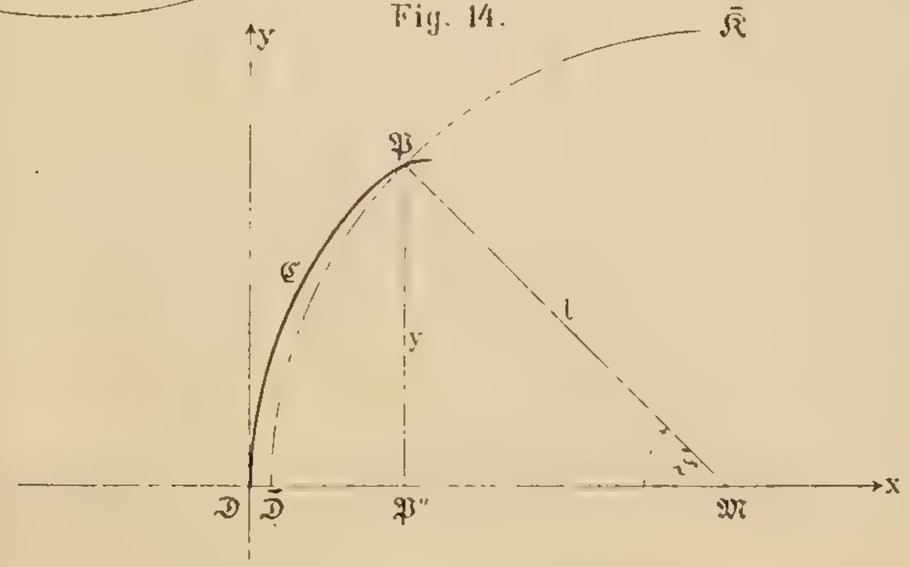


Fig. 14.



Photolith v J Barth in Wien. Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math. naturw. Classe LIII. Bd. I. Abth. Druck v J. Barth in Wien

Fig. 15.

Fig. 19.

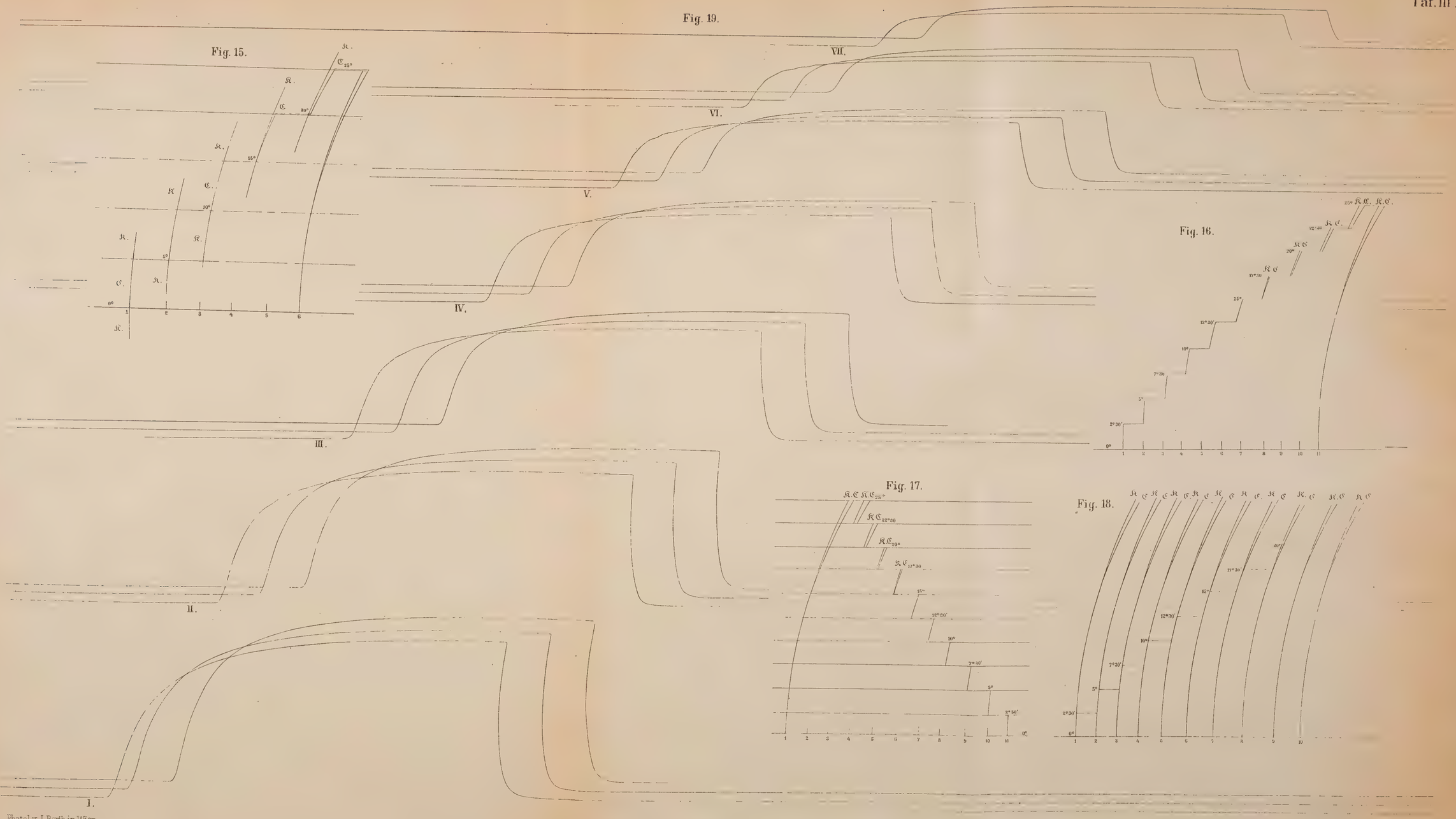


Fig. 16.

Fig. 17.

Fig. 18.

Photol. v. J. Barth in Wien.

Druck v. J. Barth in Wien.

Fig. 20.

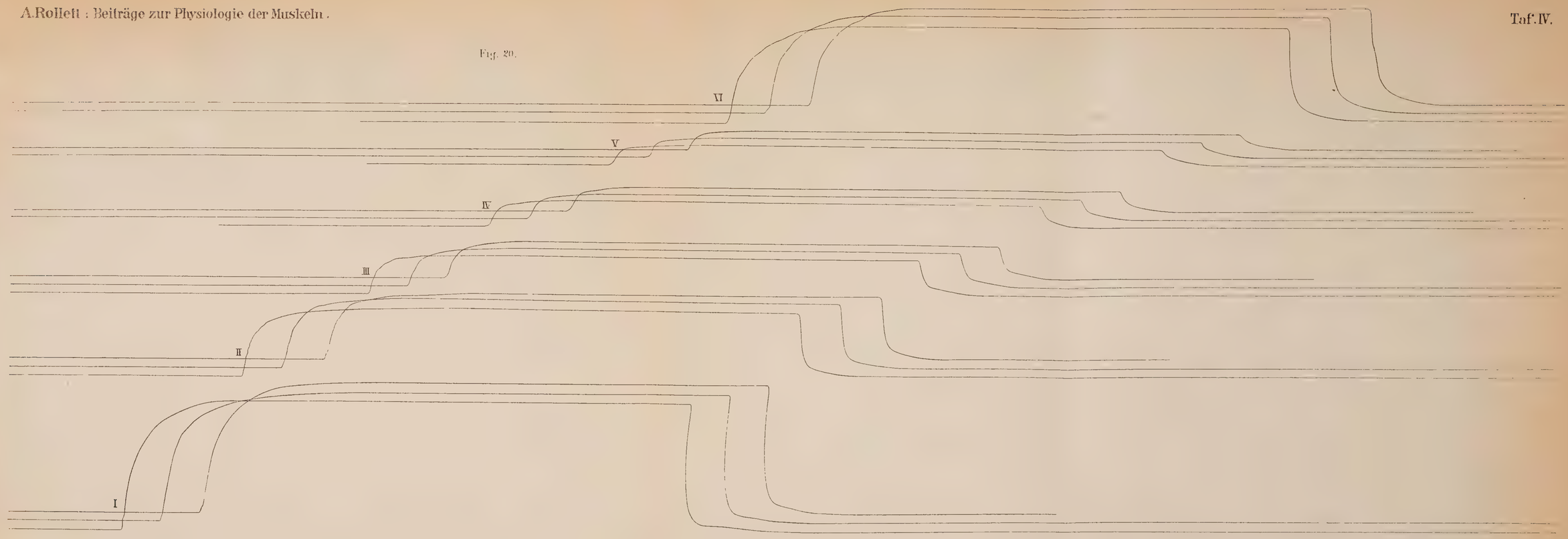


Fig. 21.

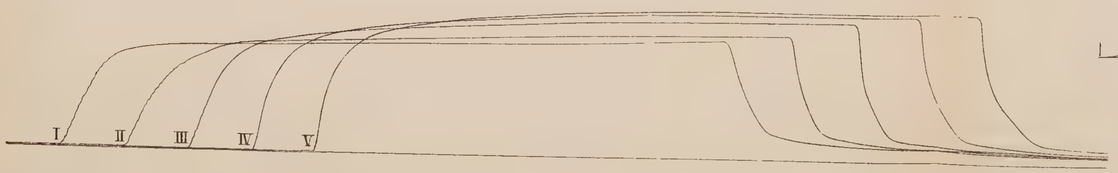


Fig. 29

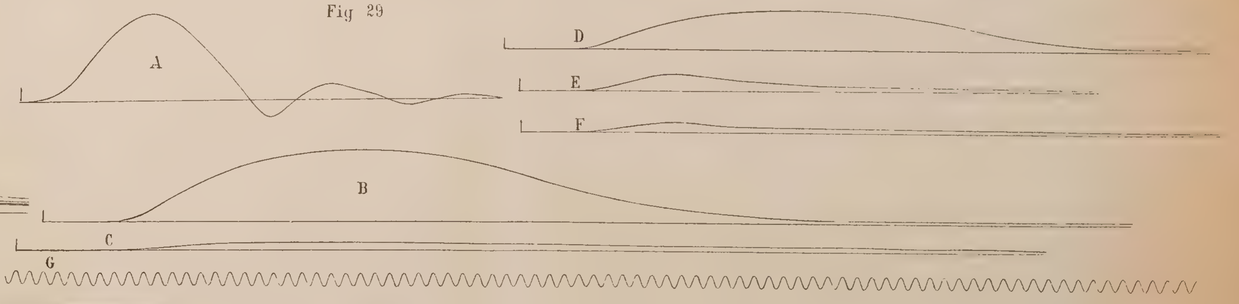
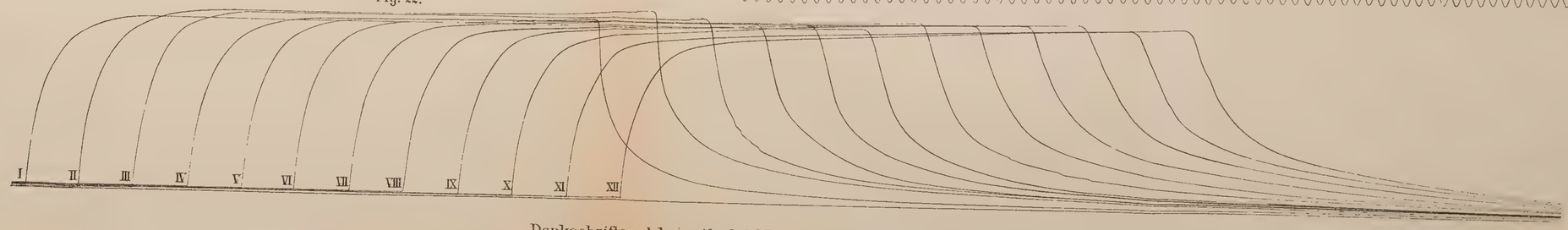


Fig. 22.



Phot. v. J. Barth in Wien

Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math. naturw. Classe LIII. Bd. I Abth.

Druck v. J. Barth in Wien.

Fig. 23.

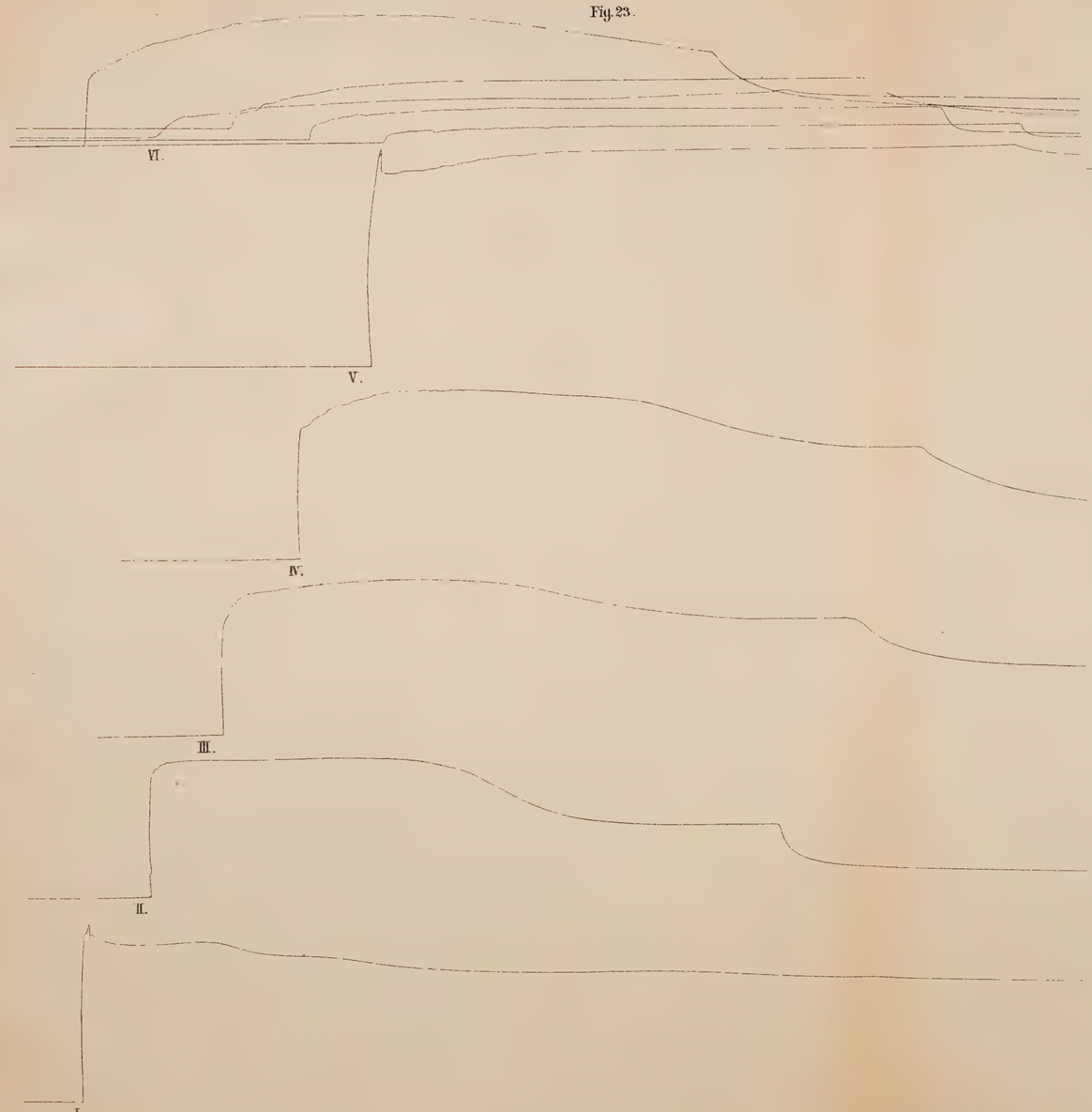
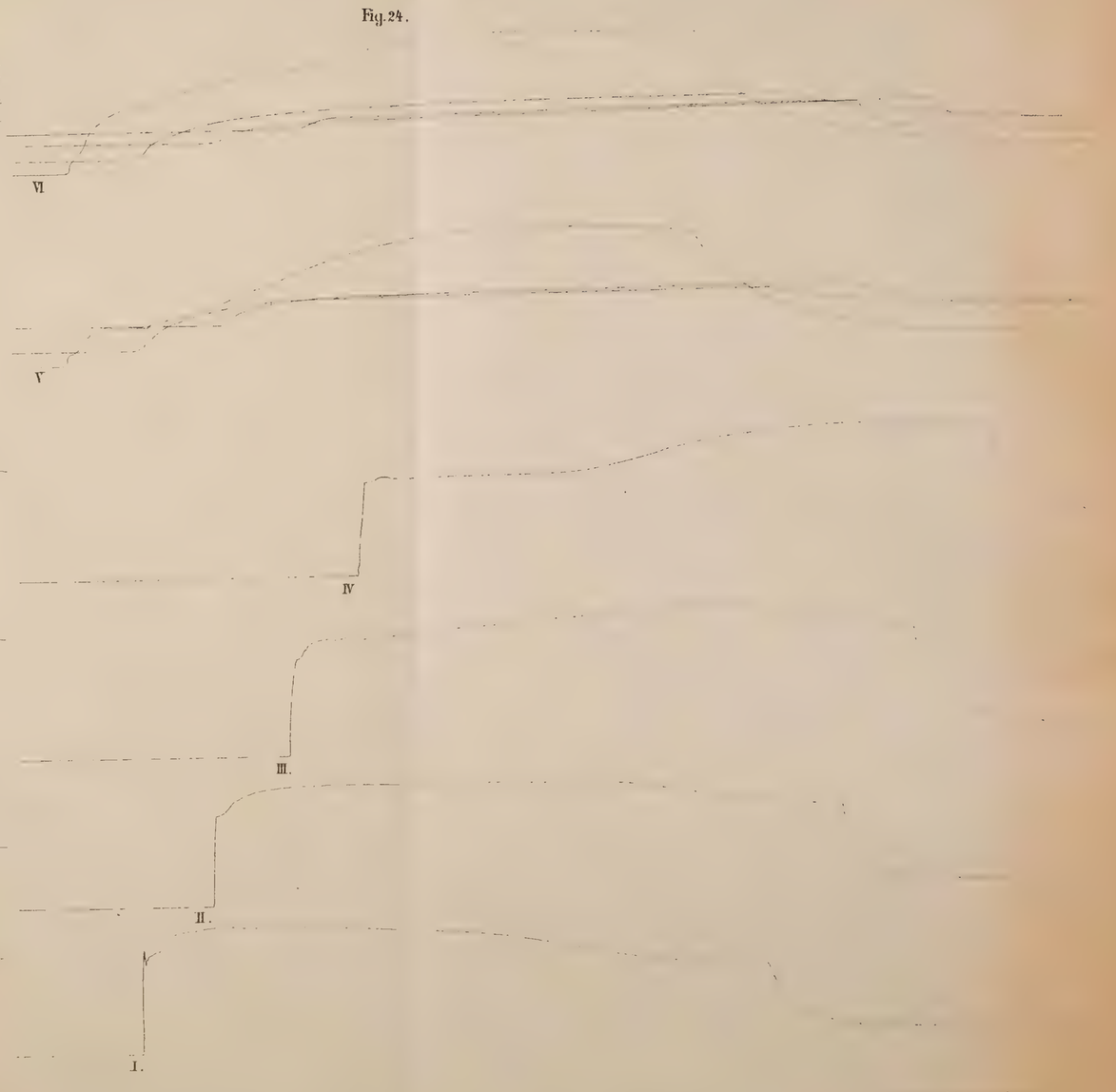
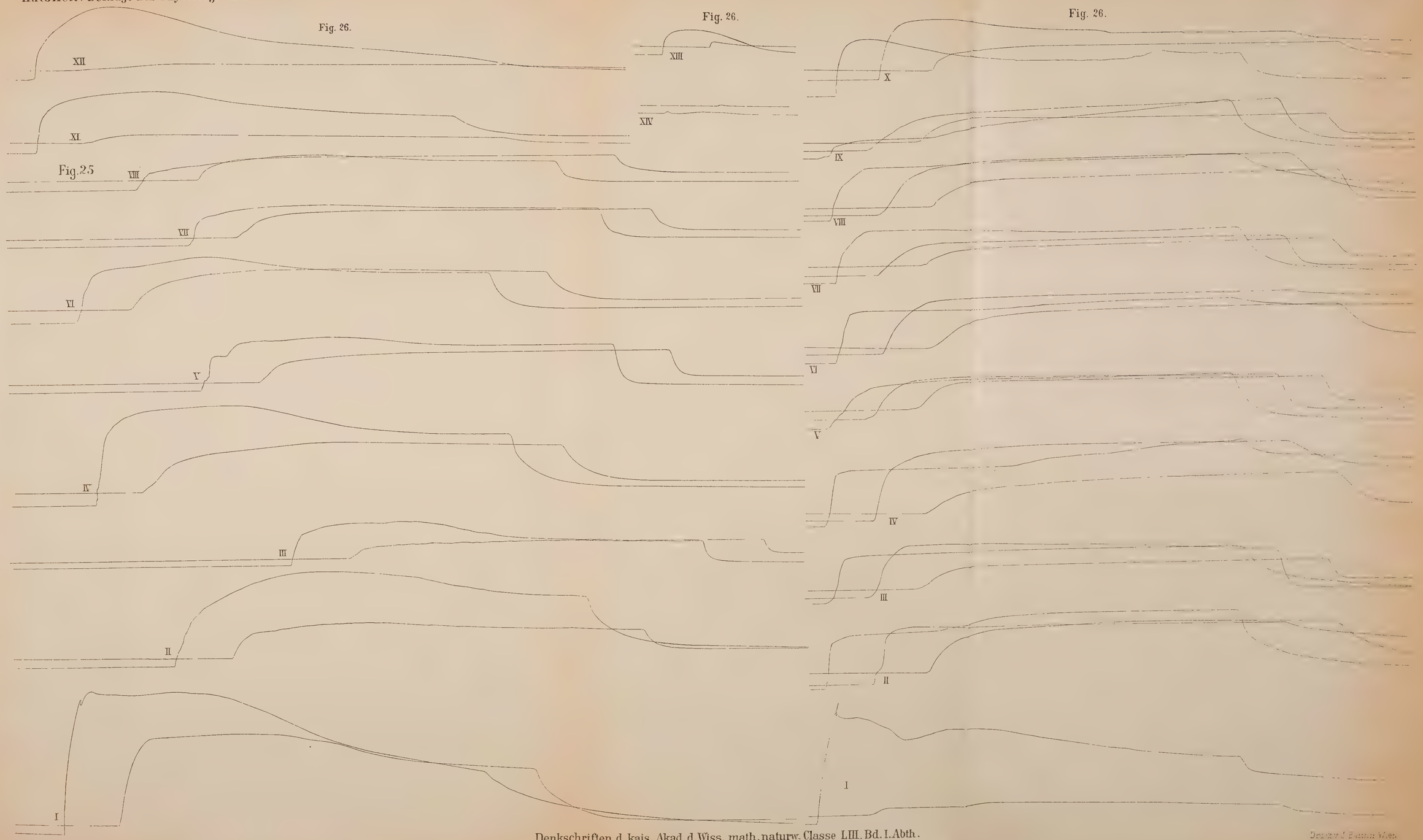


Fig. 24.



Photolith. v. J. Barth in Wien.



Photolith. v. J. Barth in Wien.

Druck v. J. Barth in Wien.

Fig.27.

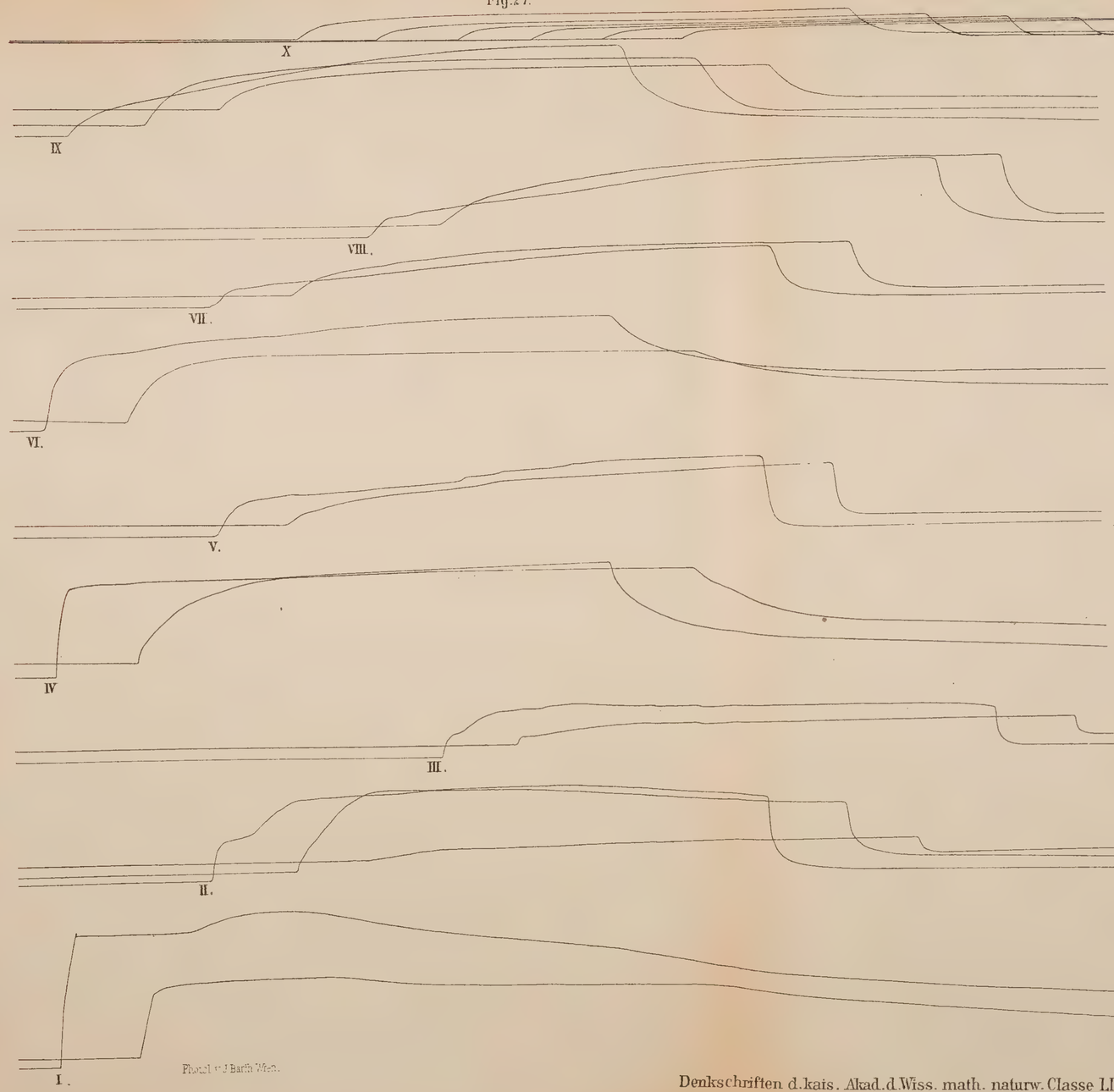
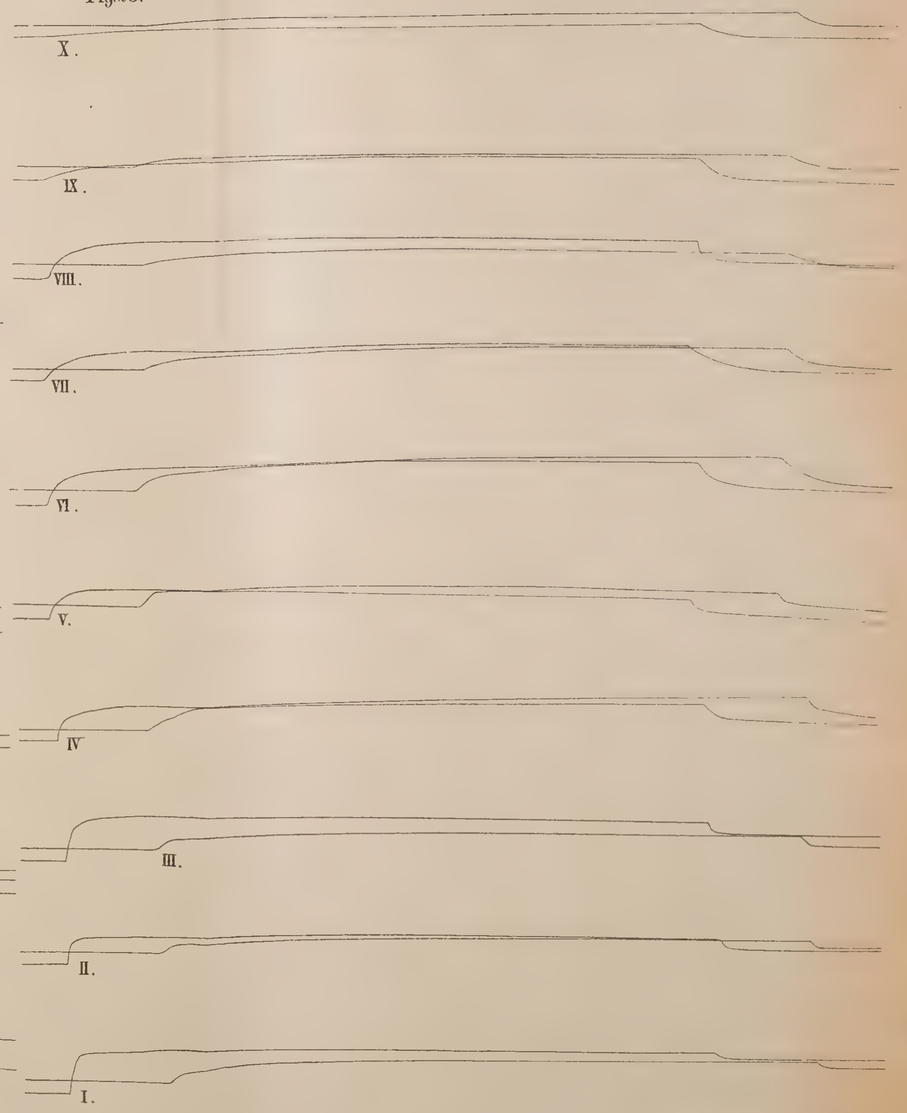


Fig.28.



Photol. v. J. Barth Wien.

Druck v. J. Barth, Wien

Fig. 30.

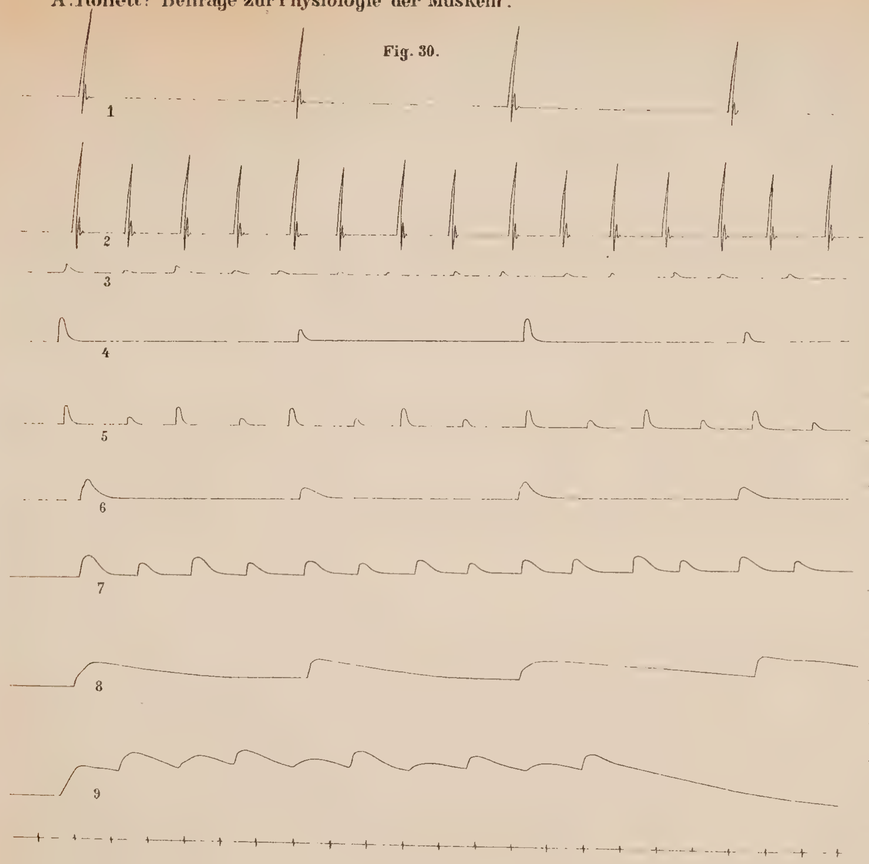


Fig. 32.

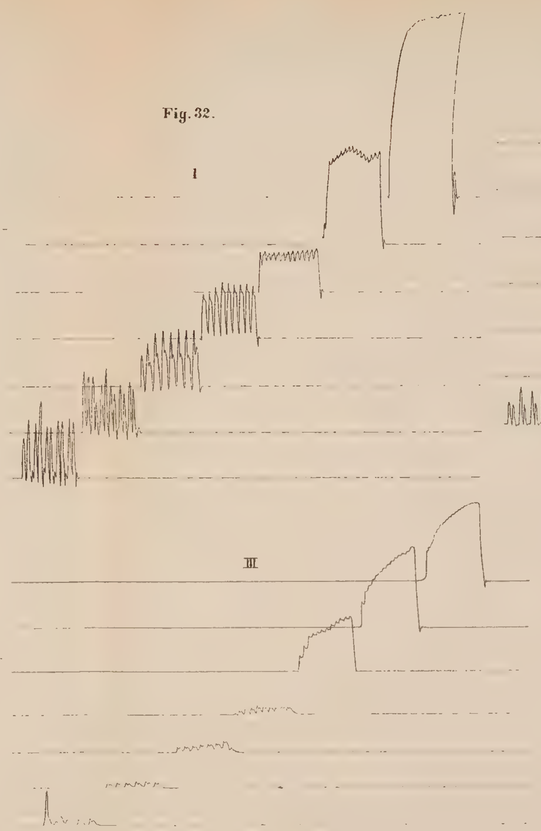


Fig. 35.

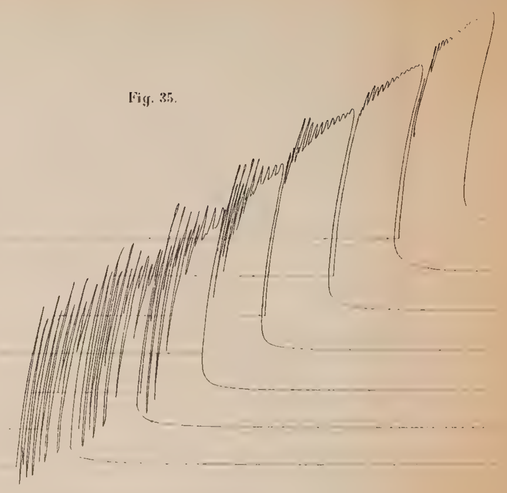


Fig. 38.

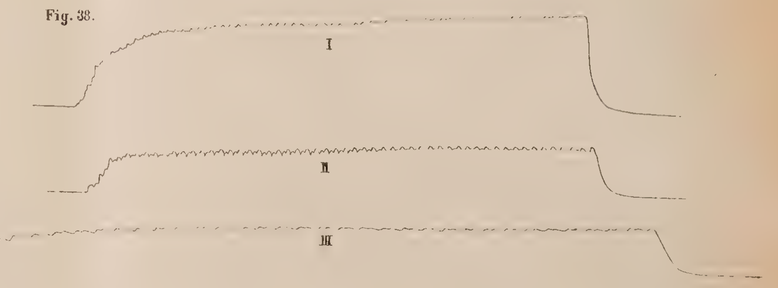
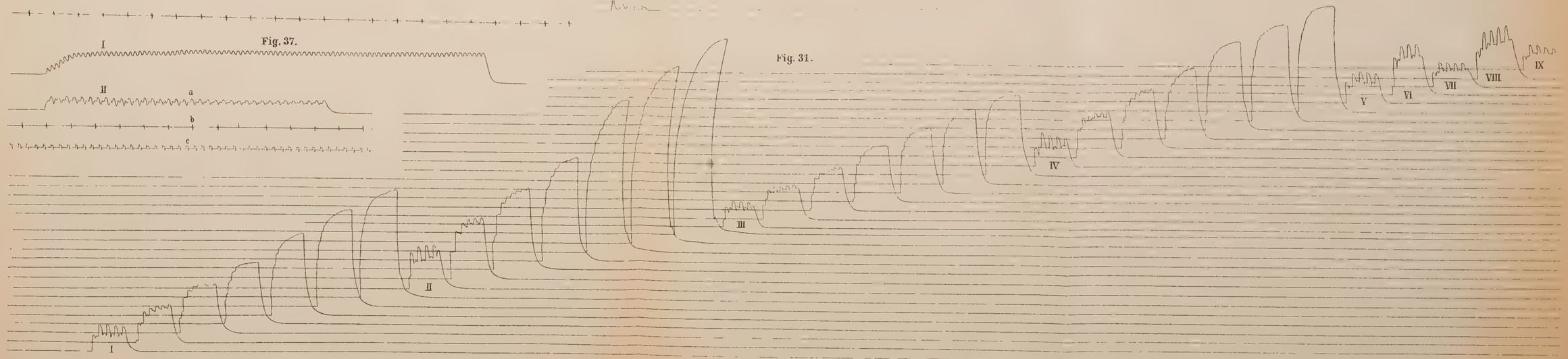


Fig. 37.

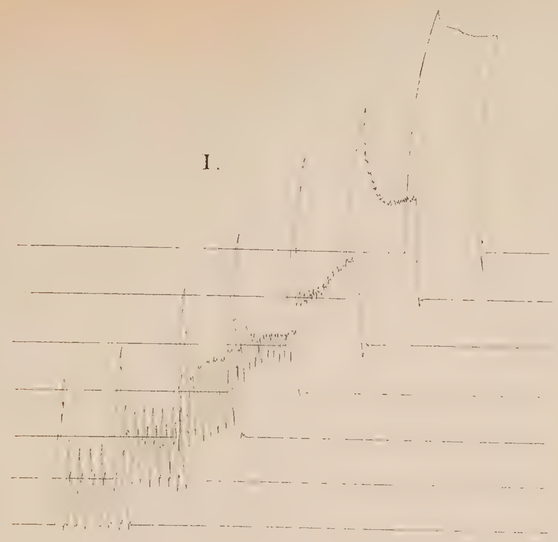
Fig. 31.

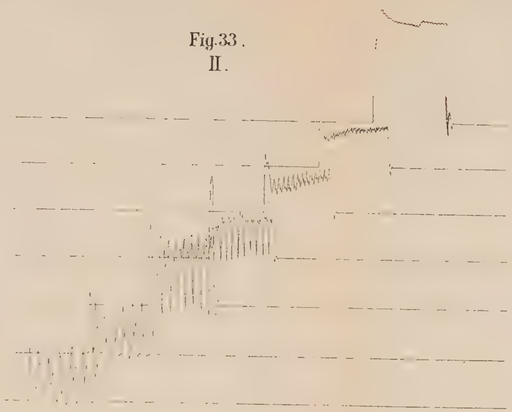


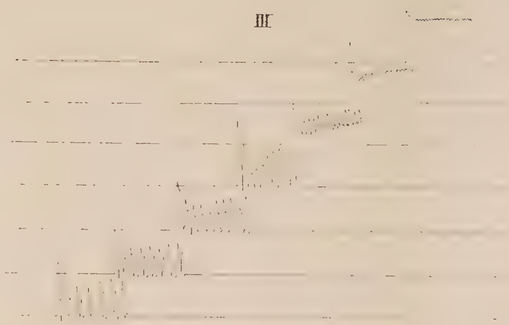
Photolith. v. J. Barth Wien.

Druck v. J. Barth in Wien.

Fig. 33.







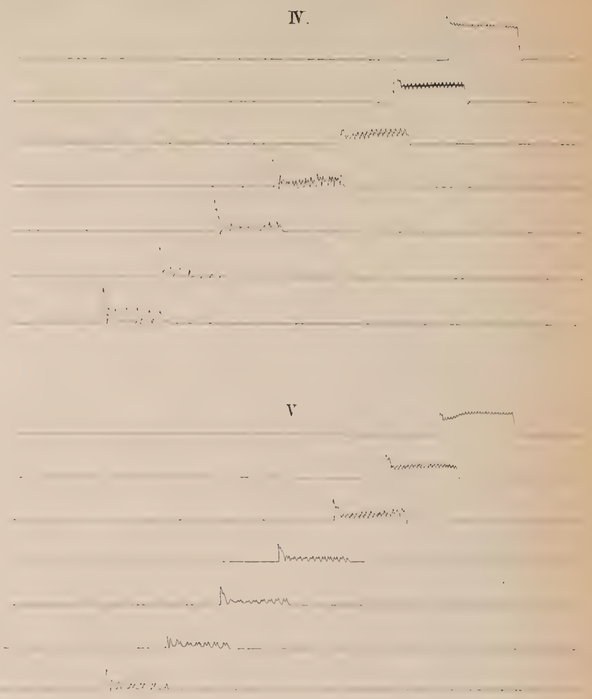


Fig. 34.

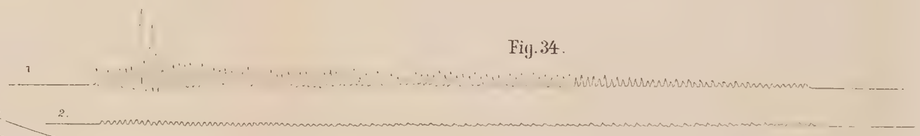


Fig. 39.

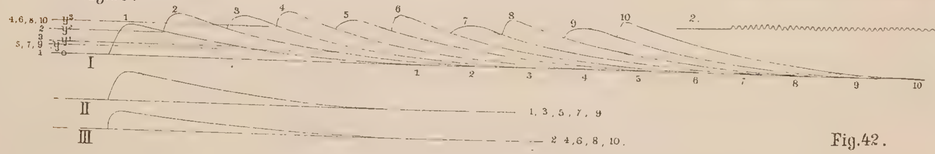


Fig. 42.

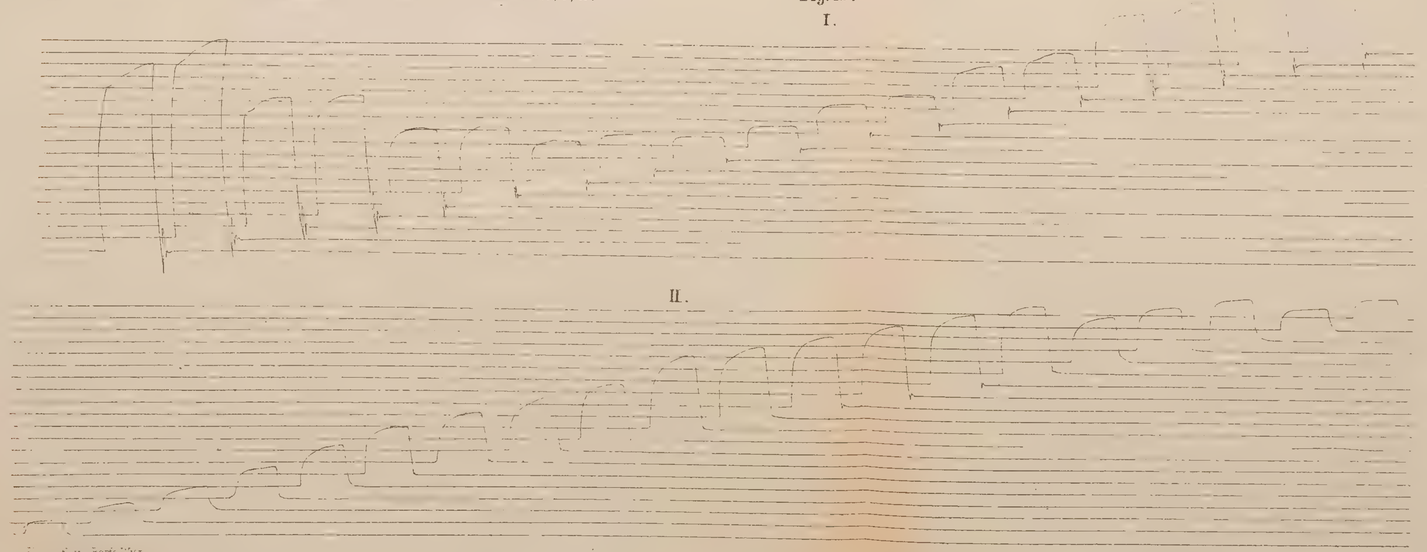


Fig. 36.

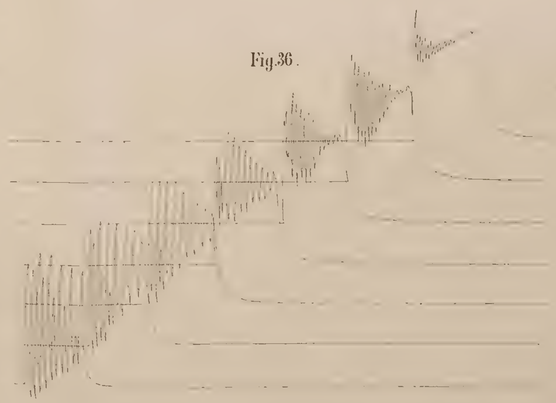


Fig. 40.

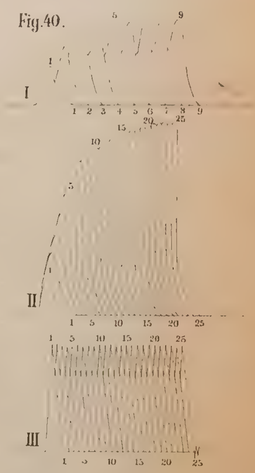
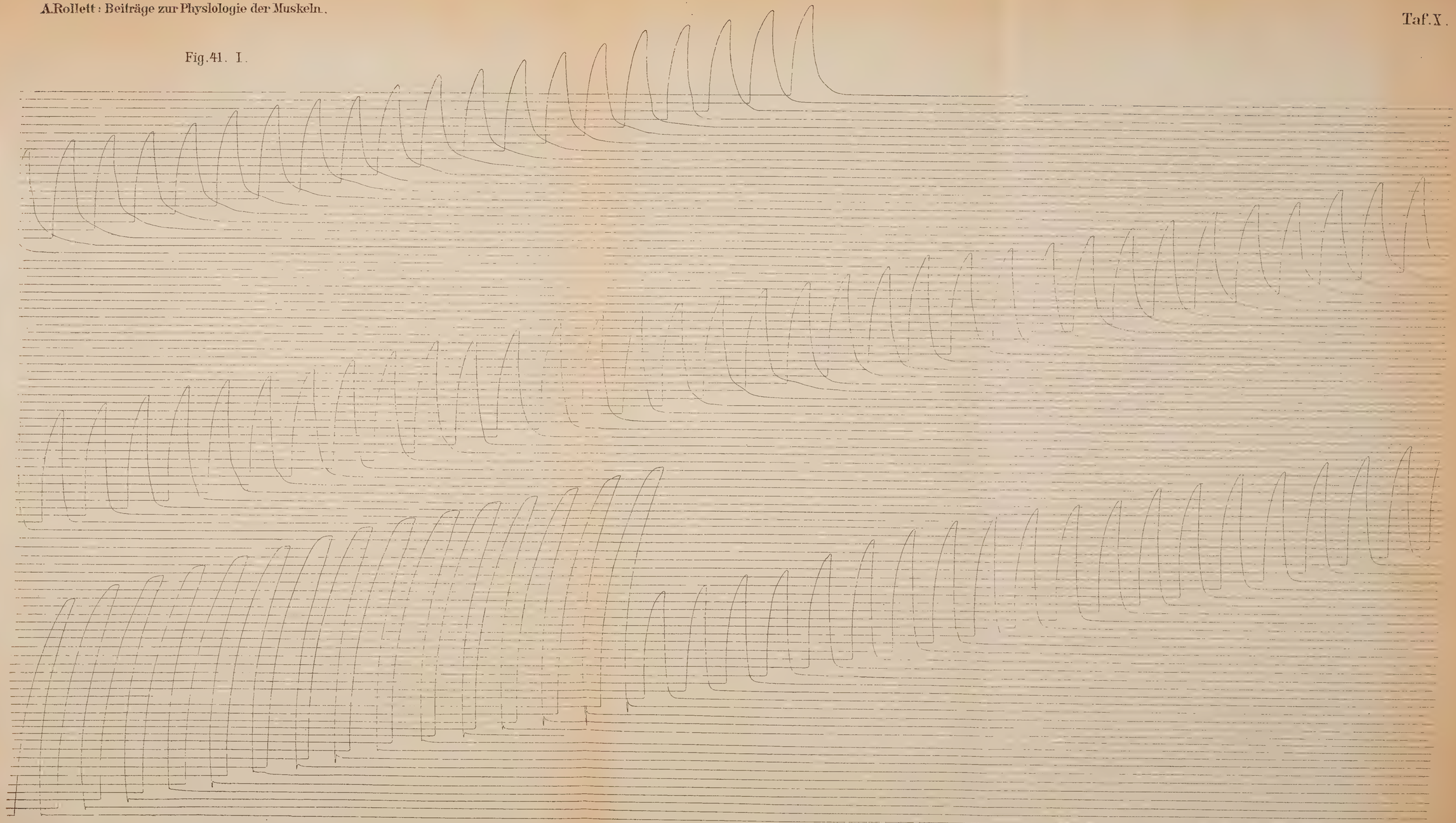


Fig. 41. I.

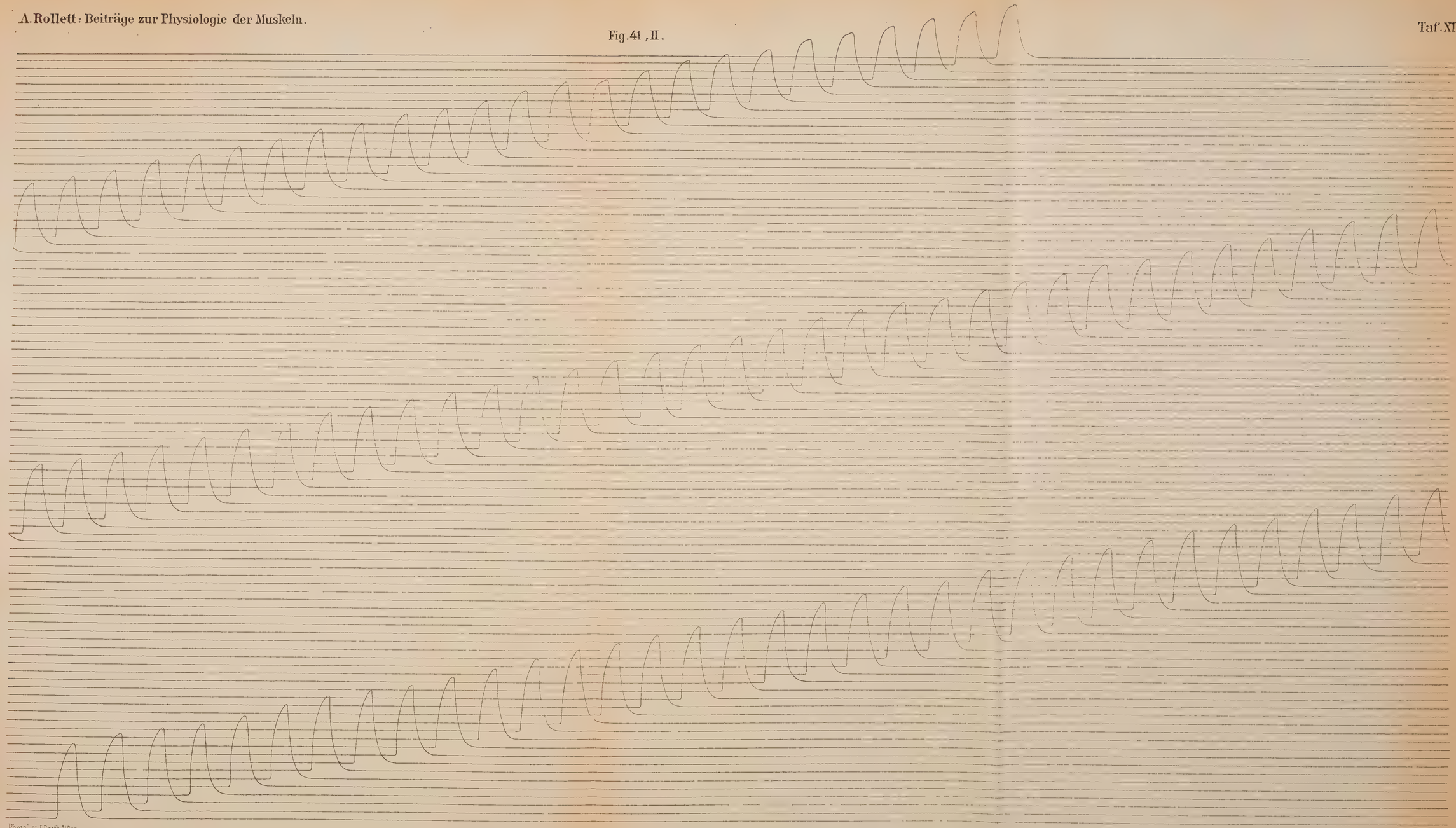


Lith. v. J. Barth Wien

Denkschriften d. kais. Akad. d. Wiss. math. naturw. Classe LIII Bd. I. Abth.

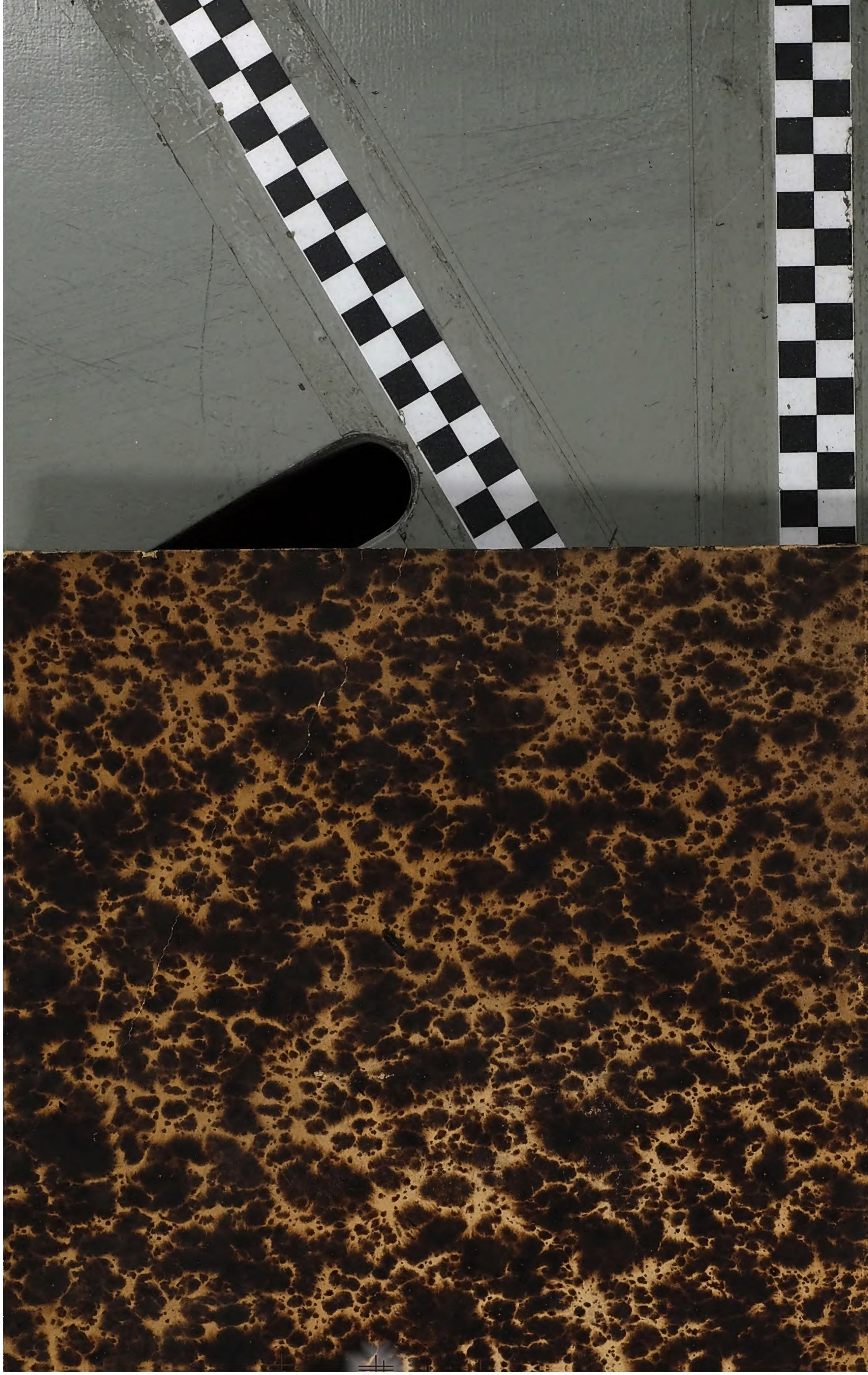
Druck v. J. Barth Wien

Fig. 41, II.



Photol. v. J. Barth Wien.

Druck v. J. Barth Wien.



BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Rollett, Alexander

Beiträge zur Physiologie der Muskehn Mit 11 Tafeln. (Aus Bd. 53 der Denkschriften der mathem.-?? naturw Cl. der Kais. Akad. d. Wiss.)

Wien 1887

4 Anat. 156 u
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11469951-0